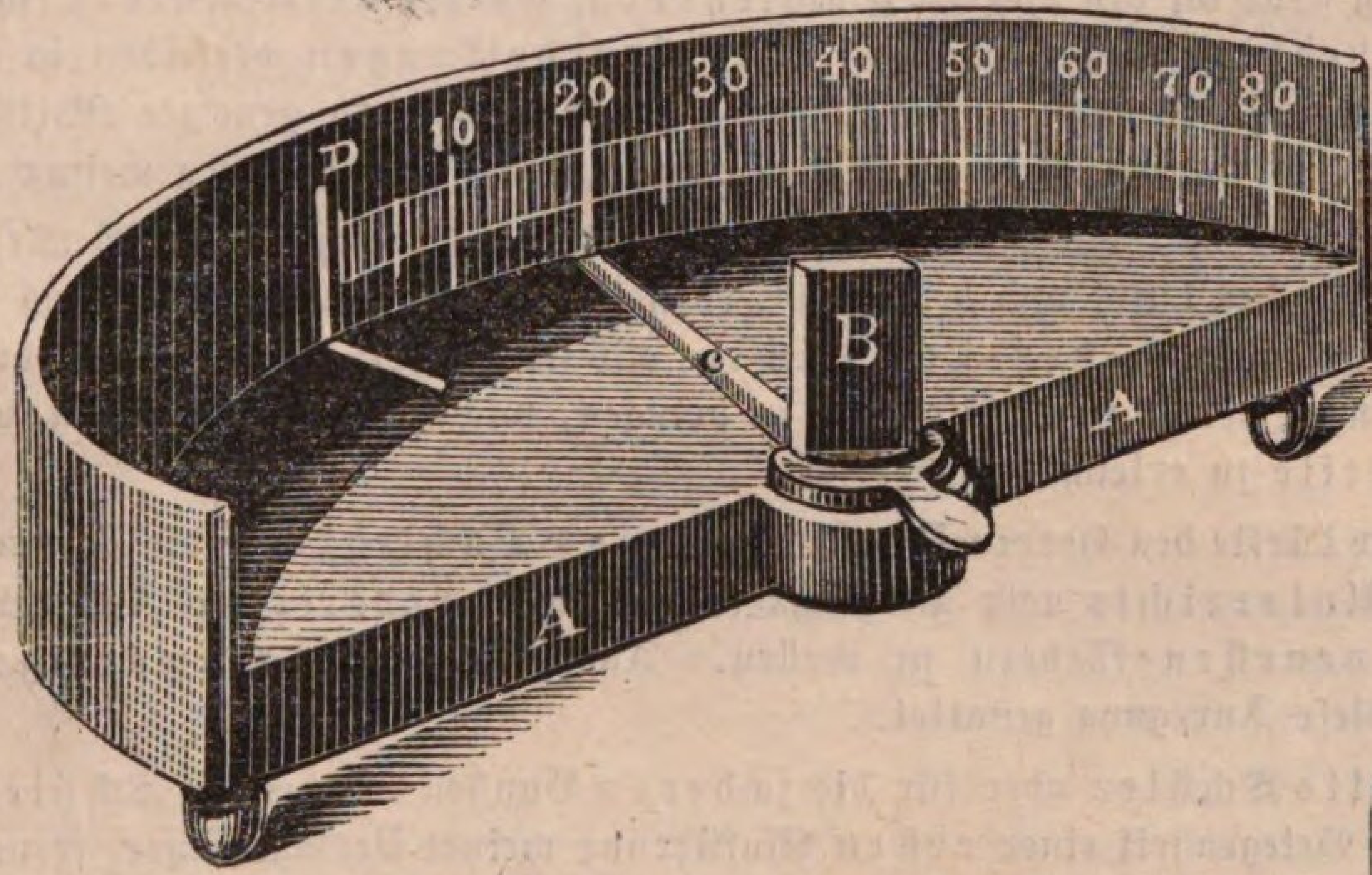
Schul-Physik.

Bearbeitet

von

Albert Trappe,

Professor und Prorektor an der Realschule am Zwinger zu Breslau.



K. B. RECTORAT D. REALSCHULE IN STRAUBING

Siebente,

verbesserte und vermehrte Auflage.

Mit 250 in den Text gedruckten Abbildungen.

Ferdinand Hirt,

Königliche Universitäts- und Verlags-Buchhandlung.

Breslau, 1875.

OS 364(7)
n.V.

Zu Ferdinand Hirt's Bibliothek des Unterrichts.

Einen mit Vorliebe gepflegten Zweig meiner Verlagsthätigkeit bildet die Literatur des Unterrichts. Jedem Unternehmen in den verschiedenen Fächern derselben bleibt eine gleich eingehende, opferwillige Fürsorge gesichert.

Der inneren Bedeutung der ihrer Zahl nach beschränkten Reihe der Bücher entspricht deren äußere Ausstattung. Namentlich erstrebe ich für die Gebiete der Naturwissenschaften, der Geographie und der Lesebuch-Literatur eine reiche und instruktive, meist nach Originalzeichnungen ausgeführte Illustration.

Vertreten sind insbesondere: **Naturgeschichte — Schilling, Wimmer; Physik** und **Mathematik — Kambly, Trappe; Geographie — Kutzen, v. Seydlitz; Deutsche Sprache — Lewitz; Deutsche Lesebücher — Auras und Gnerlich, Seltzsam; Lateinische Sprache — Lübbert, Sauppe; Polnische Sprache — Kampmann; Volksschulunterricht** und **Volksschul-Lesebücher — Bock.**

Bei beabsichtigter Einführung des einen oder andern Lehrbuchs meiner Firma stehen den hohen Behörden, den Herren Schulräthen und Schul-Inspektoren, Direktoren und Lehrern auf direktes Begehren Dedikations-Exemplare jederzeit zu Diensten.

Gleich bereitwillig stelle ich den Herren Fachlehrern, welche beim Unterricht meiner Schulbücher sich schon bedienen, auf Ersuchen neue Bearbeitungen derselben in einem Exemplar zu eigenem Gebrauch zur Verfügung, erbitte dagegen meinerseits geneigte Mittheilung begründeter Wünsche und Beiträge für fortdauernde Berichtigung und Verbesserung meiner Verlagswerke.

Anerkannt ist zu meiner Freude die Gewissenhaftigkeit, welche mich bei der Herstellung neuer Auflagen jedes einzelnen Buches leitet und bemüht ist, eben so die unabweisbare Beachtung wissenschaftlich gebotener Vervollkommnung der Lehrbücher mit schonender Rücksicht auf die im Gebrauch befindlichen Bearbeitungen derselben in Einklang zu bringen, wie den Ankauf der neuen durch gewohnte Billigkeit der Preise zu erleichtern.

Um so berechtigter dürfte den Herren Direktoren und Fachlehrern die Bevorwortung erscheinen: im Interesse des Unterrichts nach Möglichkeit den Ersatz veralteter Auflagen in der Hand des Schülers durch die neuesten fördern zu wollen. Auch für die gegenwärtige Bearbeitung der Schul-Physik sei diese Anregung gestattet.

Für unbemittelte Schüler oder für die zu deren Gunsten bestehenden Schüler-Bibliotheken betheilige ich mich bei Gelegenheit einer ersten Einführung meiner Verlagsbücher, je nach dem Umfange des Gesammt-Bedarfs der Lehranstalt, gern durch eine entsprechende Gewährung von Frei-Exemplaren, über welche mir eine unmittelbare Verständigung erwünscht bleibt.

Möge meine „Bibliothek des Unterrichts", auch fortan eben des Geleits wohlwollender Theilnahme sich erfreuen, welche bis dahin ihrer weiten Verbreitung im In- und Auslande zu Gute kam.

Breslau, Königsplatz 1.

Ferdinand Hirt.

135605733

Das Recht der Uebertragung der „Schul-Physik" in fremde Sprachen behält sich der Verleger ausdrücklich vor.

Passau

Druck: Von Graß, Barth und Comp. (W. Friedrich) in Breslau.

Papier: Von Korn und Bock zu Sacrau in Schlesien.

Zur Verständigung
über den Zweck und Gebrauch der vorliegenden „Schul-Physik".

Das Buch macht keinen Anspruch auf den Namen eines Lehrbuches der Physik; es ist nicht für den Selbstunterricht, sondern lediglich für den Schulunterricht geschrieben. Beide Zwecke kann ein Buch nicht vereinigen; Bücher, deren Titel sich dessen rühmen, sind meist Bücher für den Selbstunterricht auf Kosten der Zweckmäßigkeit für die Schule.

Der Schulunterricht in der Physik soll den Schüler nicht blos mit den wichtigsten physikalischen Erscheinungen und den daraus sich ergebenden Gesetzen bekannt machen, sondern er soll auch dessen geistige Kraft üben; der Schüler soll beobachten, aus einer Gruppe gleichartiger Erscheinungen das Naturgesetz finden und umgekehrt die einzelne Erscheinung dem betreffenden Gesetze unterordnen lernen. Endlich soll er sich, wie in jedem andern Unterrichtsgegenstande, logisch und sprachlich richtig, mündlich, wie schriftlich, ausdrücken lernen.

In der Erreichung dieser Zwecke soll nun das vorliegende Buch den Lehrer, wie den Schüler unterstützen.

Von dem Lehrer muß vorausgesetzt werden, daß er des von ihm vorzutragenden Gegenstandes mächtig sei, daß er seine Kenntnisse nicht erst aus dem Schulbuche zu schöpfen braucht; dieses soll ihm aber den mit den Schülern durchzunehmenden Stoff, die Art der Entwickelung und die Reihenfolge geben, in welcher der Stoff vorzutragen ist.

In Betreff des Stoffes ist freilich in den meisten Anstalten, für welche das vorliegende Buch bestimmt ist, dem physikalischen Unterrichte nicht so viel Zeit eingeräumt, daß das ganze Material in ein und demselben Cursus durchgearbeitet werden könnte; aber ich habe die Grenzen nicht gar zu eng ziehen zu dürfen geglaubt, damit dem Lehrer ein gewisser Spielraum in der Auswahl des Stoffes bleibe und das Buch auch an solchen Anstalten benutzt werden könne, welche der Physik eine größere Menge Zeit widmen. Doch habe ich alles dasjenige ausgeschlossen, dessen wissenschaftliche Begründung nach meinem Ermessen gar zu viel Zeit erfordern oder die Fassungskraft der Schüler übersteigen würde, wobei mir der Standpunkt unserer Anstalt maßgebend gewesen ist. Nur einige wenige Gesetze habe ich, von diesem Grundsatze abweichend, historisch angeführt, solche nämlich, welche mir zu wichtig oder zu interessant schienen, um sie ganz zu übergehen.

In Betreff der Entwickelungen versteht es sich von selbst, daß der Lehrer sich nicht durchweg an die hier gegebenen binden soll. Setzt er hier und da eine andere an deren Stelle, so wird es zweckmäßig sein, diese als Aufgabe zu einer schriftlichen Arbeit zu benutzen, um die Schüler in der schriftlichen Darstellung zu üben. Ebenso muß es dem Lehrer anheimgestellt bleiben, in welchem Falle er erst eine Gruppe von Erscheinungen vorführen und daraus das betreffende Naturgesetz herleiten, und in welchem er erst das Gesetz a priori entwickeln und dann durch Experimente oder durch Hinweisung auf Naturerscheinungen bestätigen will; denn obwohl der erstere Weg im Allgemeinen der natürlichere ist, so würde es doch, wie jeder erfahrene Lehrer weiß, höchst unzweckmäßig sein, ihn in allen Fällen zu verfolgen. Es würde also gleichgiltig sein, ob in dem Buche die Erscheinungen vor dem Gesetze stehen, oder demselben folgen; doch habe ich mir erlaubt, überall anzudeuten, wo ich den einen oder den andern Weg für zweckmäßiger halte.

Ferner soll das Buch den Lehrer nicht am freien Vortrage hindern; denn wenn dieser in irgend einem Unterrichtsgegenstande wünschenswerth ist, so ist es gewiß in der Physik. Auch sollen die Abbildungen nicht das Vorzeichnen an der Tafel entbehrlich machen; denn der Schüler gelangt am besten zum klaren Verständniß des Dargestellten, wenn er die Figur entstehen sieht. In den Abbildungen der Instrumente ist meist das Unwesentliche weggelassen, oder auch nur das Princip derselben dargestellt, weil das Unwesentliche die Aufmerksamkeit von dem Wesentlichen ablenkt, ein und dasselbe Instrument in den verschiedenen Cabineten verschieden aussieht und endlich dem Schüler auch nur zugemuthet werden kann, das Princip sich einzuprägen.

Dem Schüler soll das Buch zunächst das Ausarbeiten eines vollständigen Heftes ersparen, ihn einer Arbeit überheben, über deren Unzweckmäßigkeit, wenigstens für die Physik, die Pädagogen einig sind. Er soll daraus das wiederholen, was ihm in der Schule zum Verständniß gebracht worden ist, was er dort gelernt hat. Ein Buch aber, aus dem man nicht lernen, sondern das schon Gelernte nur repetiren will, darf nicht in der Ausführlichkeit geschrieben sein, als ein Lehrbuch; denn das würde die Repetition erschweren. Ich habe mich daher der möglichen Kürze befleißigt, habe daher die leichteren Entwickelungen oder solche, denen ganz ähnliche vorangehen, in der Regel nur angedeutet oder ganz weggelassen. Das Letztere ist aber nicht blos der Kürze wegen geschehen, sondern auch deshalb, damit solche Entwickelungen als schriftliche Aufgaben gegeben werden können.

Um die Schüler im Erklären von Naturerscheinungen zu üben, sind hinter den einzelnen Paragraphen dahin zielende Fragen gestellt, welche theils unter Anleitung des Lehrers beantwortet, theils als häusliche Aufgaben benutzt werden können, wobei ich bemerken muß, daß die Fragen bisweilen Erklärungen von Erscheinungen fordern, die sich nur scheinbar oder wenigstens nicht allein aus dem unmittelbar vorangehenden Gesetze ergeben.

Zur Erleichterung der General-Repetitionen, bei denen es doch hauptsächlich darauf ankommt, die in dem betreffenden Abschnitte abgehandelten Gesetze in ihrer Reihenfolge und ihrem Zusammenhange zu übersehen, sind alle Erörterungen und Entwickelungen, so wie nebensächliche Bemerkungen in Petitschrift gesetzt, die Hauptgesetze aber, die womöglich auswendig gelernt werden müssen, mit besonders hervortretender Schrift gedruckt und zur Unterstützung des Gedächtnisses gruppenweise zusammengestellt und numerirt. Ebenso sind die technischen Ausdrücke durch besonderen Druck ausgezeichnet.

Die Anwendungen der physikalischen Gesetze auf das praktische Leben habe ich meist an das Ende der einzelnen Kapitel verwiesen, um den Faden der sich an einander reihenden Gesetze nicht zu unterbrechen.

Zur siebenten Auflage.*)

Zuerst spreche ich den geehrten Herren Collegen, welche sich des Buches beim Unterrichte bedienen, und so freundlich waren, mir ihre Wünsche in Betreff der neuen Auflage zu erkennen zu geben und mich auf Mängel und Schwächen des Inhaltes aufmerksam zu machen, meinen aufrichtigen Dank aus. Wenn ich auch aus mancherlei Gründen nicht alle habe berücksichtigen können, so habe ich doch den meisten gern Rechnung getragen und hoffe, daß dadurch das Buch an Brauchbarkeit gewonnen hat. Die meisten Veränderungen hat der mechanische Theil erfahren.

Der bisherige **Anhang**, welcher die „**chemischen Gesetze**" behandelt und nur für solche Lehranstalten berechnet war, die dem Unterrichte in der Chemie eigene Stunden nicht einräumen können, ist in Folge mehrseitiger Anregungen in einer **besonderen**, die Fortschritte der Wissenschaft berücksichtigenden Bearbeitung von der Hand des Oberlehrers Herrn Dr. G. **Stenzel**, unter dem Titel: „**Chemische Erscheinungen**" erschienen und **auf Begehren** — je nach Wunsch und Bedarf der Besteller von Exemplaren der **Physik** — als ergänzende Beigabe derselben — zum billigen Preise von 50 Pf. durch jede Buchhandlung zu beziehen.

Breslau, 1875.

Der Verfasser.

---

*) Bei beabsichtigter **Einführung**, wie bei bereits verwirklichtem **Gebrauch** der **Trappe**'schen **Schul-Physik**, sende ich den Herren **Direktoren** und **Fachlehrern** auf **direkt** an mich gerichtetes Ersuchen ein **Dedikations**-Exemplar der **neuesten Bearbeitung** mit Dr. **Stenzel**'s **Anhang**: „**Chemische** Erscheinungen."

Im **Interesse des Unterrichts** dürfte es sich empfehlen, an Stelle **veralteter** Auflagen in der Hand des Schülers die Anschaffung der vorliegenden **neuesten** Ausgabe des Buches zu fördern, zumal ich für **unbemittelte** Schüler eine dem Umfange des Gesammtbedarfs der Lehranstalt entsprechende Zahl von **Frei**-Exemplaren, nach persönlicher Vereinbarung darüber, gern bewilligen werde.

Breslau, Königsplatz 1.

Der Verleger.

Inhalts-Uebersicht
nach wissenschaftlicher Reihenfolge.

Aus

der Bibliothek des Unterrichts

für Schule und Haus

von Ferdinand Hirt in Breslau,

Königlichem Universitäts- und Verlags-Buchhändler.

Cum Deo et die!

F. H.

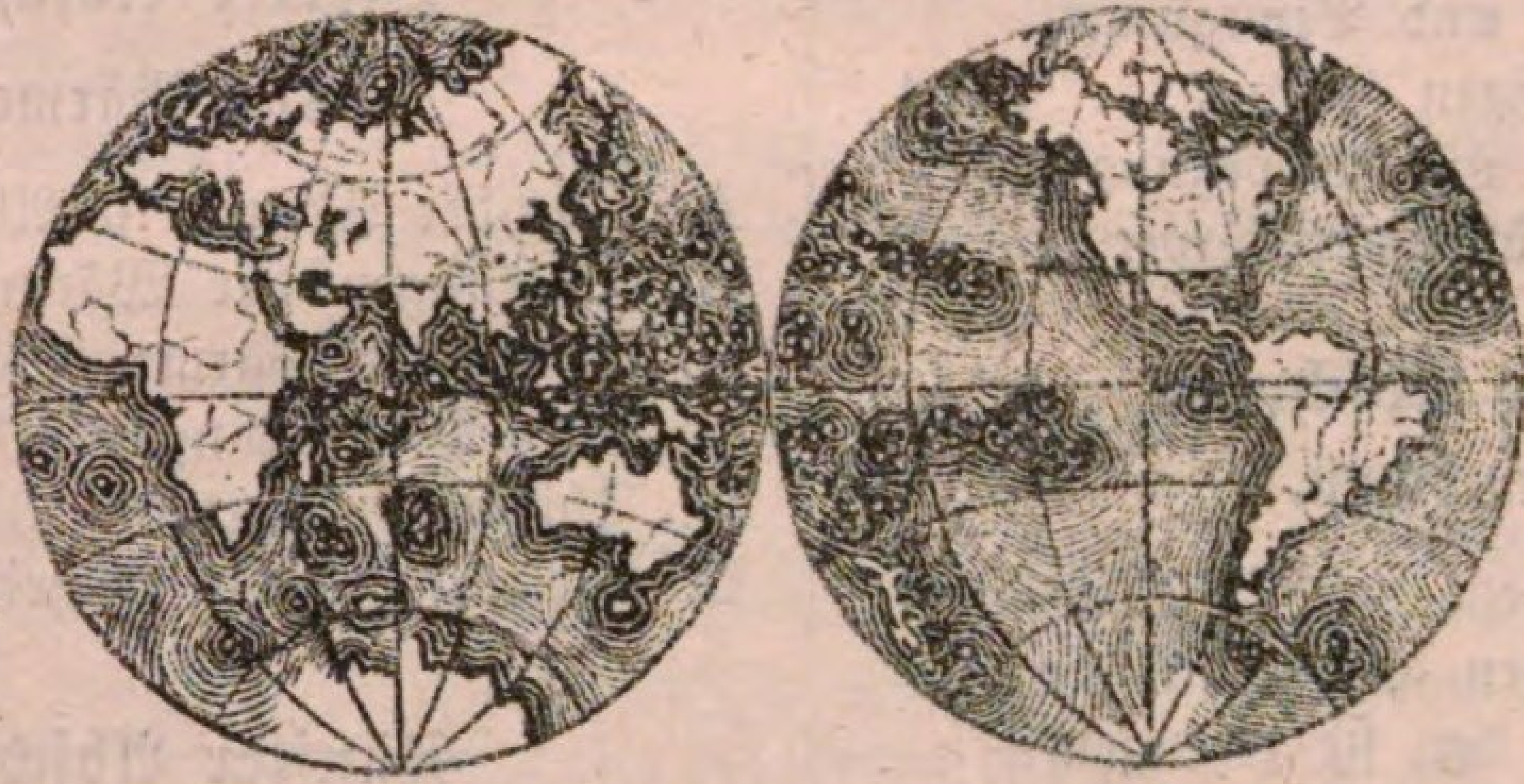
I. Für den Unterricht in Naturwissenschaften: Geographie, Naturgeschichte, Physik und Mathematik.

So eben erschien in wiederum vervollkommneter Bearbeitung und ist in jeder Buchhandlung des In- und Auslandes zu haben:

E. von Seydlitz' Schul-Geographie.

Fünfzehnte, wesentlich verbesserte und vermehrte Bearbeitung.

Illustrirt durch **90 Kartenskizzen** und erläuternde Abbildungen.



Mit Nebeneinanderstellung der neuen und alten Maße.

Nebst einem geographisch-geschichtlichen Namen- und Sach-Register. Preis: **3 M. 50 Pf.**

Diese fünfzehnte Bearbeitung der größeren Ausgabe der von Seydlitz'schen Geographie bietet, unter Festhaltung der Grundsätze, die bei den früheren Auflagen leitend gewesen sind, im Interesse erhöhter pädagogischer Brauchbarkeit und möglichst gleichmäßiger Vertretung der einzelnen Länder, eine mannichfaltige Bereicherung und Erweiterung, vor allem an Kartenskizzen. Die Zahl derselben ist von 82 auf 90 gestiegen.

Ganz neu sind die **Skizzen** der **beiden Halbkugeln des Festlandes und des Meeres**, der **Isothermen**, des **nördlichen Frankreich und des linken Rheinufers bis Basel**, der **Schweiz**, **Böhmen's** und **Ungarn's**, wie **Nord-Amerika's**. Namentlich mit letzterer Skizze, die zugleich die neuesten arktischen Entdeckungen giebt, soll einem längst gefühlten Bedürfniß abgeholfen werden. Die Skizze von **Nord-Frankreich** und dem **linken Rheinufer** vergegenwärtigt den Schauplatz des letzten großen Krieges um die Rheingrenze; hingegen zeigt die Skizze der **Schweiz** in ihrem Gesammtbilde, welche Wichtigkeit, außer den Flußlinien, die Päße für die Besiedelung des Gebirgslandes, wie für die Anlegung von Verkehrsstraßen schon früh erlangen mußten. **Böhmen und Ungarn**, zwei von der Natur besonders bevorzugte und charakteristisch ausgestattete Landräume, haben die ihnen gebührende Vertretung gefunden.

Durch neue Zeichnungen ersetzt sind die Skizzen der **West-**, **Mittel-** und **Ost-Alpen**, der **deutsch-österreichischen Länder** und **Badens**.

Einzelne Partien der **physikalischen Geographie** sind auch diesmal neu bearbeitet worden, z. B. die **Alpen**, entsprechend den drei neuen Skizzen, die, im Gegensatz zu der linearen Darstellung der Gesammtskizze, den Gruppencharakter zur Anschauung bringen wollen. Das Gebirgssystem Groß-britanniens ist als ein Naturganzes zusammenhängend zur Darstellung gelangt. Einige Stromsysteme erforderten eine übersichtlichere Anordnung oder Vereinfachung.

Die **politische Geographie** hat bei **Inner-Asien**, der **Schweiz**, **Württemberg** und **Rußland** die berechtigte eingehendere Behandlung gefunden.

Die **historischen Ueberblicke**, erweitert und präciser gefaßt bei der **Schweiz** und bei **Baden**, sind, analog dem Standpunkt eines geographischen Schulbuches, ihrer objektiven Haltung unwandelbar treu geblieben.

Der **richtigen Schreibweise** und namentlich der **Aussprache** fremder geographischer Namen ist diesmal besondere Aufmerksamkeit zugewendet worden; so bei Asien und Afrika, bei Spanien und Skandinavien, vor allem bei **Rußland** für seine sämmtlichen Besitzungen.

Der **statistische Theil** des Buches beruht auf sorgfältiger Benutzung und Vergleichung der bis auf die jüngste Zeit erschienenen, verläßigsten Quellen.

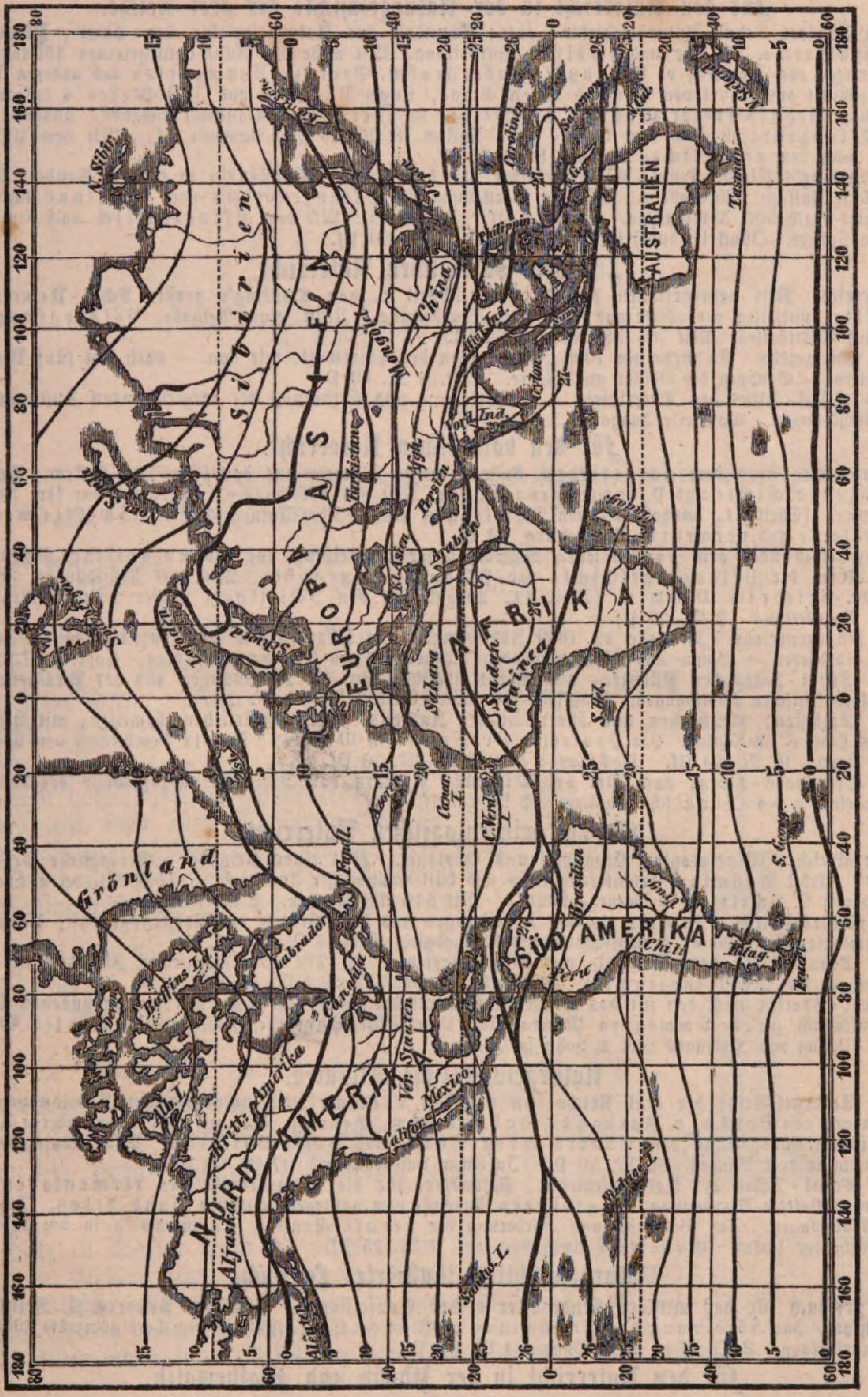
Auch die **Geschichte der Geographie** hat eine durch die Entdeckungen und Forschungen der Neuzeit unerläßlich gewordene Erweiterung erhalten, so vor allem bei Inner- und Süd-Afrika, bei den arktischen Räumen der Erde und bei Australien.

Einer allseitigen Berichtigung und Vervollkommnung des **geographisch-geschichtlichen Namen- und Sach-Registers** ist eingehende Sorgfalt gewidmet.

Die einheitliche Gestaltung des ganzen Buches zu fördern, blieb das treu bethätigte Bemühen des …rlegers und Bearbeiters.

[illegible]

Probe der Kartenskizzen der von Seydlitz'schen Schul-Geographie.



Karte der Isothermen.

Gleichzeitig mit dieser neuesten Bearbeitung der größeren Ausgabe der von Seydlitz'schen Geographie erschien:

E. von Seydlitz, kleine Schul-Geographie.

Fünfzehnte, vielseitig verbesserte und vermehrte Bearbeitung. Mit Nebeneinanderstellung der neuen und alten Maße. Illustrirt durch einundvierzig Kartenskizzen und erläuternde Abbildungen. Nebst einem geographisch-geschichtlichen Namen- und Sach-Register. Preis des ungebundenen Exemplars: 1 M. 75 Pf.

Der vielseitige Hinweis in beiden Ausgaben der von Seydlitz'schen Geographie auf **„Das deutsche Land in seinen charakteristischen Zügen und seinen Beziehungen zu Geschichte und Leben der Menschen. Zur Belebung vaterländischen Wissens und vaterländischer Gesinnung. Von Professor Dr. J. Kutzen." Neue, zweite Bearbeitung. 2 Bände. 10 M.** rechtfertigt sich durch die allgemein anerkannte Bedeutung des trefflichen Werkes, das für die Bibliotheke der Lehrer und Schulen, wie für die Wahl von Prämien, fortdauernd gleiche Beachtung verdien

Für den Unterricht in der Naturgeschichte der drei Reiche.

Schilling's Größere Schul-Naturgeschichte, oder: Grundriß der Naturgeschichte des Thier-, Pflanzen- und Mineralreichs. Elfte und zwölfte Bearbeitung. Mit mehr als 2000 naturgetreuen Abbildungen nach Zeichnungen von Roska, v. Kornatzki, Haberstrohm, Georgy, Baumgarten und anderen Künstlern, in Holzschnitt ausgeführt von Eduard Kretzschmar, Hugo Bürkner und J. J. Weber's xylographischem Institut. Behufs freier Wahl in doppelter, je drei Theile umfassender Ausgabe. Ausgabe I.: Mit dem Pflanzenreich nach dem Linné'schen System. 8 M. 25 Pf. Ausgabe II.: Mit dem Pflanzenreich nach dem natürlichen System. 8 M. 75 Pf.

Samuel Schilling's Kleine Schul-Naturgeschichte der drei Reiche. Vollständig in einem Bande. Vierzehnte verbesserte Auflage. Ausgabe A: Mit der Darstellung des Pflanzenreichs nach dem Linné'schen System. Illustrirt durch 800 Abbildungen. 3 M. 50 Pf. Ausgabe B: Mit dem Pflanzenreich nach dem natürlichen System. Illustrirt durch 822 Abbildungen. 3 M. 50 Pf.

Für den zoologischen Unterricht.

Das Thierreich. Mit naturgetreuen Abbildungen. (Theil I. von Schilling's großer Schul-Naturgeschichte.) Zwölfte, vielseitig verbesserte und bereicherte Bearbeitung. Nebst einer Beigabe: Völkergruppen nach den fünf Welttheilen. Mit 755 Abbildungen. 3 M.

Atlas des Thierreichs. In mehr als 1000 Abbildungen der Thierwelt, wie von — nach den fünf Welttheilen geordneten — Gruppen der Völker und Thiere. Cart. 6 M. 50 Pf.

Schilling's Schul-Atlas des Thierreichs. Zur Belebung und Förderung der vergleichenden Anschauung. In 500 Abbildungen. Wohlfeile Ausgabe. 1 M. 50 Pf.

Für den botanischen Unterricht.

Das Pflanzenreich nach dem natürlichen System, unter Hinweis auf das Linné'sche System. Nebst einer Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie. Mit 815 Abbildungen. Begründet von Dr. Friedrich Wimmer. (Theil II. Ausgabe B von Schilling's großer Schul-Naturgeschichte.) Zwölfte wesentlich verbesserte und vermehrte Bearbeitung. 3 M.

Das Pflanzenreich nach dem Linné'schen System, unter Hinweisung auf das natürliche System. Nebst einem Abriß der Pflanzengeschichte und Pflanzengeographie. Mit 700 Abbildungen. Begründet von Dr. Friedrich Wimmer. (Theil II. Ausgabe A von Schilling's großer Schul-Naturgeschichte.) Elfte Bearbeitung. 2 M. 50 Pf.

Atlas des Pflanzenreichs. In nahe an 1000 Abbildungen von Pflanzen und Bäumen, wie von — nach den Zonen geordneten — Baum- und Pflanzengruppen. Bearbeitet von Dr. Fr. Wimmer. Cart. 5 M. 50 Pf.

Schilling's Schul-Atlas des Pflanzen- und Mineralreichs. In 392 Abbildungen aus der Pflanzenwelt und 272 mineralogischen Abbildungen. Wohlfeile Ausgabe. Cart. 1 M. 50 Pf.

Flora von Schlesien; preußischen und österreichischen Antheils. Nach natürlichen Familien, mit Hinweisung auf das Linné'sche System. Von Professor Dr. Friedrich Wimmer. Dritte Bearbeitung von Wimmer's eigener Hand. 10 M. 50 Pf. Wohlfeile Ausgabe: 7 M. 50 Pf.

Schlesische Excursions-Flora, nach Dr. Fr. Wimmer's Flora von Schlesien auszugsweise bearbeitet unter Zugrundelegung des Linné'schen Systems. 2 M. 50 Pf.

Für den mineralogischen Unterricht.

Das Mineralreich. Mineralogie, Geognosie und Geologie. Mit einer Beigabe: „Geologische Vegetationsbilder." Nebst Anhang: Erläuterung berg- und hüttenmännischer Ausdrücke. (Theil III. der elften Bearbeitung von S. Schilling's Naturgeschichte.) Mit 540 Abbildungen. 2 M. 75 Pf.

Atlas des Mineralreichs. In mehr als 800 Abbildungen aus dem Gebiete der Krystallographie, Petrographie, Paläontologie, Geotektonik, Formationslehre und Geologie. Cart. 4 M. 50 Pf.

Schilling's Schul-Atlas des Mineral- und Pflanzenreichs. In 272 mineralogischen Abbildungen und 392 Abbildungen aus der Pflanzenwelt. Wohlfeile Ausgabe. Cart. 1 M. 50 Pf.

Die Mineral-Species nach den für das specifische Gewicht derselben angenommenen und gefundenen Werthen. Ein Hülfsbuch zur bestimmenden Mineralogie. Vom Ober-Bergrathe, Professor Dr. Martin Websky. 7 M. (Verlag von Ferdinand Hirt & Sohn in Leipzig.)

Naturgeschichtliche Atlanten.

Atlas der Naturgeschichte der drei Reiche, in nahe an dreitausend naturgetreuen Abbildungen. Nach Zeichnungen von Roska, v. Kornatzki, Haberstrohm, Georgy, Baumgarten und anderen Künstlern, in Holzschnitt ausgeführt von Eduard Kretzschmar und Hugo Bürkner. Mit erläuterndem Text. Vollständig in drei Bänden. 16 M. 50 Pf. In einem Halbfranzband: 17 M. 25 Pf.

Schilling's Schul-Atlas der Naturgeschichte. Besondere, für die Erfordernisse des elementaren Unterrichts veranstaltete Bearbeitung der größeren Ausgabe vom naturgeschichtlichen Hand-Atlas. In nahe an 1200 Abbildungen. Zur Belebung und Förderung der vergleichenden Anschauung in den Gebieten der drei Reiche der Natur. Wohlfeile Ausgabe: cart. 2 M. 75 Pf.

Naturgeschichtlich illustrirtes Lesebuch.

Deutsches Lesebuch für das mittlere Kindesalter beider Confessionen. Von den Brüdern K. Seltzsam und **L. Seltzsam.** Zur Förderung der Anschauung illustrirt durch zahlreiche, in den Text gedruckte Abbildungen. 8te Bearbeitung. 2 Theile in einem Bande. 1 M. 80 Pf.

Für den Unterricht in der Physik und Mathematik.

Trappe, Prof. A., Schul-Physik. 7. verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 250 Abbildungen. 3 M. Mit Anhang: Chemische Erscheinungen von Dr. G. Stenzel. 3 M. 50 Pf. Anhang zu Trappe's Schul-Physik — einzeln 50 Pf.

Kambly, Prof. Dr. L., Die Physik. 2. verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 163 Abbildungen. 2 M. 25 Pf.

Kambly, Dr. L., Die Arithmetik und Algebra. (I. Theil der Elementar-Mathematik.) 19. Auflage. 1 M. 40 Pf.

Kambly, Dr. L., Die Planimetrie. (II. Theil der Elementar-Mathematik.) 38. Auflage. 1 M. 40 Pf.

Kambly, Dr. L., Die ebene und sphärische Trigonometrie. (III. Theil.) 10. Auflage. 1 M. 25 Pf.

Kambly, Dr. L., Die Stereometrie. (IV. Theil der Elementar-Mathematik.) 9. Auflage. 1 M. 25 Pf.

Trappe, Professor A., Schul-Arithmetik. 1 M. 50 Pf.

Für den Unterricht in der Geographie.

v. Seydlitz, Schul-Geographie. 15. Bearbeitung. Mit **90** Kartenskizzen und Abbildungen. 3 M. 50 Pf.

v. Seydlitz, Kleine Schul-Geographie. 15. Bearbeitung. Mit **41** Kartenskizzen und Abbildungen. 1 M. 75 Pf.

Kutzen, Dr. J., Das deutsche Land in seinen charakteristischen Zügen und seinen Beziehungen zu Geschichte und Leben der Menschen. 2. Bearbeitung. 2 Bände. 10 Mark.

Zu beziehen durch jede Buchhandlung des In- und Auslandes.

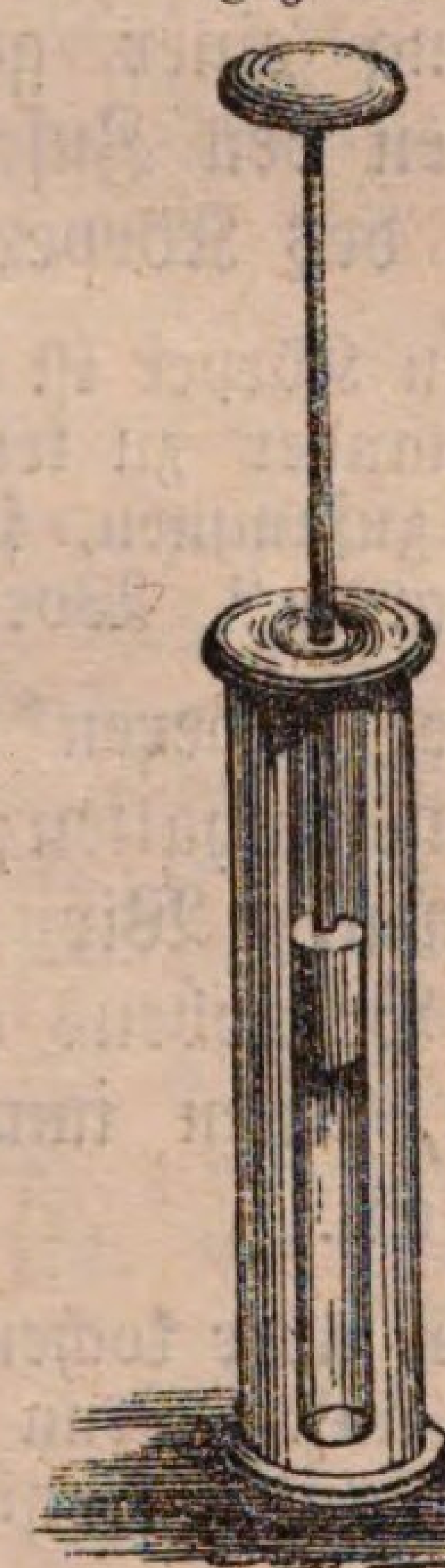
Einleitung.

§ 1. **Erklärung.** Alles, was einen Raum einnimmt (erfüllt), heißt **Materie.** **Begrenzte Materie** heißt **Körper.** § 1. Materie, Körper, Undurchdringlichkeit.

In dem Satze: „Eisen rostet leicht", ist Eisen als Materie gedacht; in dem Satze aber: „das Eisen an jener Lanze ist zu schwer", als Körper.

Jeder Körper füllt den Raum so aus, daß an dem Orte, an welchem er ist, nicht zugleich ein anderer sein kann. Man nennt daher die Körper **undurchdringlich.**

Fig. 1.



Auch Wasser und Luft sind undurchdringlich; denn in ein unten verschlossenes, cylinderförmiges Gefäß (Fig. 1), welches mit Luft oder Wasser gefüllt ist, läßt sich ein genau passender Kolben nicht bis auf den Boden drücken. Die Taucherglocke. Ein Glas, umgekehrt in ein Gefäß mit Wasser getaucht, bleibt inwendig trocken.

Erklärung. Der Raum, den ein Körper einnimmt, heißt sein **Volumen**, und die Menge der Materie, die den Raum erfüllt, seine **Masse.**

§ 2. Von den meisten festen Körpern läßt sich nachweisen, daß sie den Raum nicht continuirlich erfüllen, sondern daß es in ihrem Innern Räume giebt, die nicht mit ihrer Materie erfüllt sind. — Poren. — § 2. Porosität.

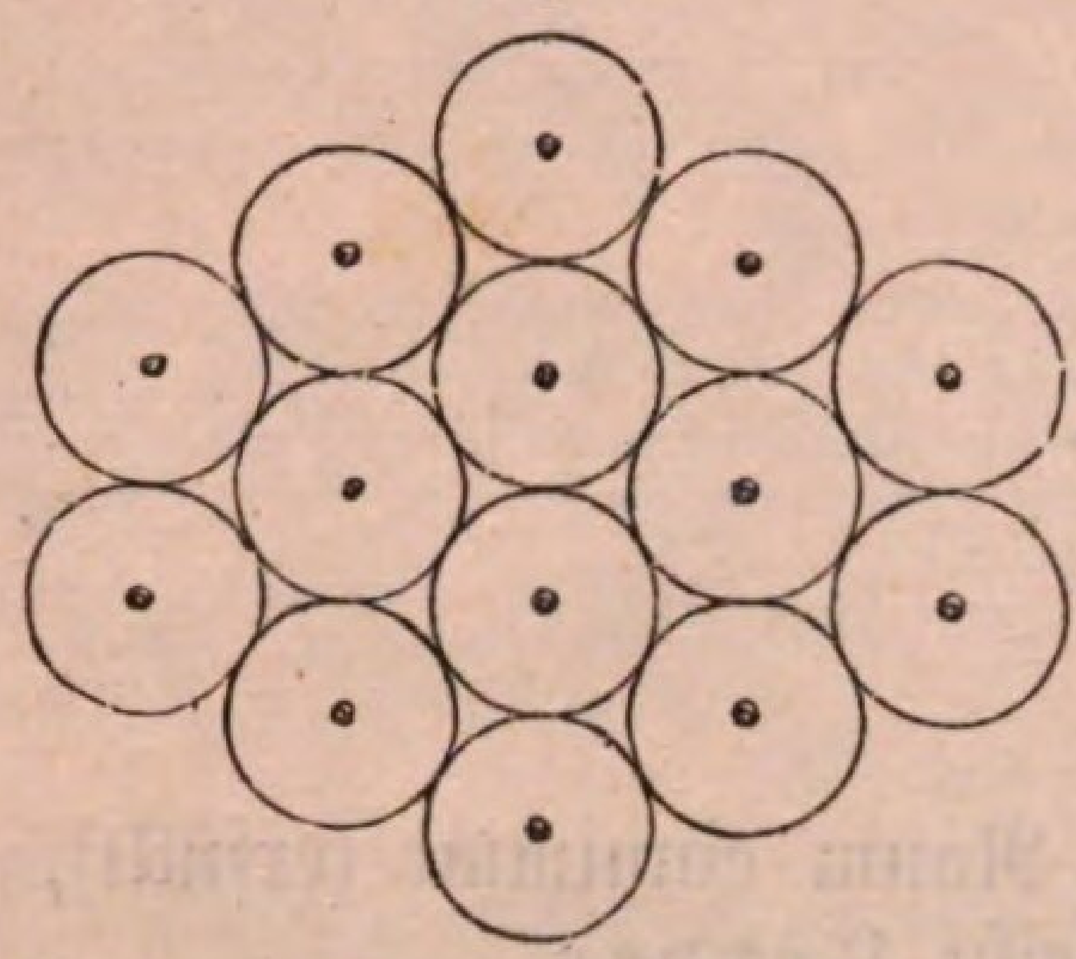
Holz in Wasser getaucht, nimmt eine Menge desselben auf. Taucht man Marmor in Oel und zerbricht ihn dann, so sieht man, daß das Oel eingedrungen ist. Metallene Röhren, in denen sich Wasser befindet, welches einem großen Drucke ausgesetzt ist, z. B. die Verbindungsröhre in der hydraulischen Presse, überziehen sich mit feinen, dem Thau ähnlichen Tröpfchen.

§ 3. Jeder Körper kann in Stücke zerlegt, getheilt werden. Man nennt daher die Körper **theilbar.** § 3. Theilbarkeit.

Bei manchen Körpern geht die Theilung ungemein weit, z. B. bei riechenden Substanzen. Die geringste Quantität Moschus erfüllt mit ihren Theilchen ein Zimmer jahrelang. Der Geruch des auf den Küsten der Provence wachsenden Rosmarins verbreitet sich 20 bis 30 Meilen weit über die See. Ein Loth Gold läßt sich zu einem Draht von 140 deutschen Meilen Länge ziehen.

Mathematisch kann man sich die Theilung zwar bis ins Unendliche fortgesetzt denken; aber gewisse Erscheinungen haben zu der Annahme geführt, daß alle Körper aus sehr kleinen Theilchen zusammengesetzt sind, welche sich auf keine Weise weiter theilen lassen; man nennt sie **Atome**. Wieder andere Erscheinungen haben die Annahme veranlaßt, daß die Atome eines Körpers sich nicht unmittelbar berühren, sondern daß jedes von einer Aether-Atmosphäre umgeben sei, wo unter Aether ein luftförmiger Stoff verstanden wird, der alle uns bekannten Luftarten an Feinheit weit übertrifft (siehe Fig. 2, wo die schwarzen Punkte die Atome, die Kreise die Grenzen der Atmosphären bedeuten).

Fig. 2.



§ 4. Cohäsion, Aggregatszustand.

§ 4. Die Zertheilung erfordert bei manchen Körpern die Anwendung einer gewissen Kraft. Wir nennen diese Körper **fest** und schreiben den Zusammenhang ihrer Theile der Anziehung der einzelnen Atome des Körpers zu. Diese Anziehung heißt **Cohäsion**.

Ein Körper ist also desto fester, je mehr Kraft erforderlich ist, seine Theile von einander zu trennen. Zerbricht man einen Körper und setzt ihn dann wieder zusammen, so ziehen sich die Theile nicht wieder so fest an, als vorher; warum? Worin besteht das Leimen, Kitten?

Bei anderen Körpern ist eine gewisse Kraft nöthig, ihre Theile zusammenzuhalten; sie bestreben sich stets, einen größeren Raum einzunehmen. Wir nennen sie **luftförmig** und nehmen als Ursache dieses Bestrebens gegenseitige Abstoßung ihrer Atome an. Das Bestreben, einen immer größeren Raum einzunehmen, nennt man **Expansion**.

Der über kochendem Wasser sich sammelnde Dampf hebt den Deckel des Topfes auf. Wenn man eine zum Theil mit Luft gefüllte Blase in einen luftverdünnten Raum bringt, so bläht sie sich auf und platzt wohl gar.

Gäbe es nun Körper, deren Atome sich weder anzögen noch abstießen, so wären diese **absolut flüssig**. Solche Körper giebt es jedoch nicht; denn diejenigen, welche wir flüssig nennen, zeigen immer noch einen geringeren oder größeren Zusammenhang ihrer Theile, wie daraus hervorgeht, daß sie Tropfen bilden.

Je größer der Zusammenhang der Theile noch ist, desto größere Tropfen bilden sie. Syrup, Oel, Wasser, Weingeist, Aether zeigen einen verschiedenen Grad von Flüssigkeit.

Diese drei Formen, unter denen die Körper erscheinen, heißen **Aggregatsformen**. Viele Körper lassen sich in allen 3 Aggregatsformen darstellen.

Wasser, Fett, Quecksilber, Blei.

Die Cohäsion läßt sich bei manchen Körpern dadurch verstärken, daß ihre Theile näher an einander gerückt werden, z. B. durch Hämmern, Pressen. Modificationen der Cohäsion.

Leder und Eisen werden durch Hämmern fester, Papier durch Pressen.

Viele Körper haben in verschiedenen Richtungen ihrer Ausdehnung einen verschiedenen Grad von Cohäsion.

Holz, Fischbein.

Auf der Cohäsion beruhen die Eigenschaften: hart, weich, — zähe, spröde, — elastisch, unelastisch.

Hart nennt man einen Körper, der schwer Eindrücke auf seine Oberfläche annimmt; **zähe** den Körper, dessen Theile sich ziemlich weit aus ihrer Lage bringen lassen, ohne sich von einander zu trennen; **elastisch** ist ein Körper, wenn seine Theile, aus ihrer Lage gebracht, wieder in dieselbe zurückzukehren streben.

Stahl, Elfenbein und Glas sind hart, spröde und elastisch. Ein Körper ist härter als ein anderer, wenn er diesen ritzt. Der Diamant ist der härteste Körper. Gummi ist zähe und elastisch.

§ 5. Adhäsion

§ 5. Nicht blos die einzelnen Theile eines festen oder flüssigen Körpers ziehen sich gegenseitig an, sondern auch 2 verschiedene Körper, wenn sie einander berühren, und zwar um so stärker, in je mehr Punkten die Berührung stattfindet. Diese Art der Anziehung heißt **Adhäsion**. Die Adhäsion zeigt sich zwischen Körpern aller Aggregatsformen. Ihre Stärke ist bei verschiedenen Materien verschieden.

Adhäsionsplatten; bei diesen ist jedoch auch der Luftdruck wirksam. Der Staub hängt sich an die Decke. Das Schreiben mit Bleistift, Kreide u. dgl., ebenso das Naßwerden eines in Wasser oder Oel getauchten Körpers, das Hinunterfließen des Wassers am Rande des Glases, wenn man es ausgießt. Zwei Tropfen Wasser auf Wachsleinwand vereinigen sich zu einem, ebenso zwei Tropfen Quecksilber auf Holz. Die Luft adhärirt an den Wänden der Barometerröhre so stark, daß sie nur durch Kochen des Quecksilbers ausgetrieben werden kann. Rollt man ein Blatt Papier zu einer engen Röhre zusammen, zündet diese an dem einen Ende an und hält das andere Ende schräg auf die Tischplatte, so lagert sich hier der hervordringende Rauch und adhärirt sehr augenfällig am Tische.

Eine besondere Betrachtung verdient die Adhäsion zwischen festen und flüssigen Körpern. zwischen festen und flüssigen Körpern.

Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit getaucht, so wird er entweder ganz von ihr benetzt, oder es bleiben nur geringe Spuren derselben an ihm hängen.

(Adhäsion findet also in beiden Fällen statt.)

Ob die eine oder die andere Erscheinung eintritt, hängt von der Materie des festen und des flüssigen Körpers und von der Oberfläche des ersteren ab.

Taucht man einen Holzstab in Wasser, so wird er ganz naß, taucht man aber ein Talg- oder ein Wachslicht in Wasser, so bleiben nur einzelne Tropfen daran hängen. Noch kleinere Tröpfchen bleiben an einem Glasstabe hängen, wenn man ihn in Quecksilber taucht. Ein Talglicht, in Oel getaucht, überzieht sich ganz mit diesem. Polirte Körper werden vom Wasser nicht benetzt.

Als Ursache der ersteren Erscheinung nehmen wir an, daß die Adhäsion zwischen beiden Körpern größer ist, als die Cohäsion der Flüssigkeitstheilchen, als Ursache der zweiten das entgegengesetzte Verhalten der beiden Materien. Hieraus lassen sich folgende Erscheinungen erklären:

1) Wird auf die horizontale Oberfläche eines Körpers ein Tropfen einer den Körper netzenden Flüssigkeit gethan, so fließt er auseinander; ein Tropfen einer den Körper nicht netzenden Flüssigkeit behält mehr oder weniger seine Kugelgestalt. Warum?

Wassertropfen auf Glas fließen auseinander, ebenso Oeltropfen auf Wachsleinwand; dagegen bilden Quecksilbertropfen auf dem Tische, Wassertropfen auf einer mit semen lycopodii bestreuten Fläche kleine Kugeln. Drückt man Wassertropfen auf Wachsleinwand mit dem Finger auseinander, so sieht man, wie sich die Wassertheilchen wieder zusammenziehen.

2) Jede Flüssigkeit bildet in einem Gefäße, dessen Wände von ihr benetzt werden, am Rande eine concave, in einem Gefäße, dessen Wände nicht benetzt werden, eine convexe Fläche. Warum?

— Beispiele. —

Capillar-Attraction.

3) Wird ein ganz enges Röhrchen (Haarröhrchen, Capillarröhrchen) in eine es netzende Flüssigkeit getaucht, so steigt diese in ihm etwas über das Niveau derselben; ist die Flüssigkeit eine die Röhre nicht netzende, so findet die entgegengesetzte Erscheinung statt. — Erklärung. —

Auf der Haarröhrchen-Anziehung (Capillar-Attraction) beruhen folgende Erscheinungen: Das Einziehen der Flüssigkeiten in Schwamm, Löschpapier, des Wassers in Sand, Erde, Mauern, in Zucker, des Oeles in den Docht, das Entstehen und Größerwerden der Fettflecke in wollenem Zeuge. In trockenes Holz wird das Wasser mit solcher Kraft eingezogen, daß nicht blos seine Theile auseinander getrieben werden (wodurch sich sein Volumen vergrößert), sondern daß durch das aufquellende Holz sogar Steine gesprengt werden können. Durch quellende Erbsen werden Schädel in ihre einzelnen Theile zerlegt.

§ 6. Allgemeine Massen-Anziehung.

§ 6. Die Körper ziehen einander aber nicht blos an, wenn sie sich berühren, sondern sie üben auch aus der Ferne Anziehung auf einander aus.

Warum wird ein an einem Faden hängender Körper nicht merklich von der Wand angezogen? Füllt aber eine riechende Substanz mit ihren Atomen ein Zimmer, so riecht man diese am stärksten in der Nähe der Wände.

Schwere. Gewicht.

Die Erde hat von allen Körpern die stärkste Anziehungskraft, und zwar zieht sie alle Körper nach ihrem Mittelpunkte hin; denn alle Körper fallen in dieser Richtung (verticale Richtung = Richtung des Erdradius), und wenn sie daran gehindert werden, so üben sie einen Druck auf die Unterlage in dieser Richtung aus. Die Anziehung der Erde heißt S c h w e r e, und die Wirkung hiervon, nämlich der Druck jedes Körpers auf seine Unterlage, G e w i c h t des Körpers, s. § 14 am Ende.

Alle Gebäude werden vertical gebaut. — Das Loth des Maurers. —

Das Gewicht ist Maß für die Masse.

Die Erfahrung lehrt, daß, wenn zwei Körper von gleicher Substanz gleiches Volumen haben, auch ihr Gewicht gleich ist, und daß, wenn sie ungleiches Volumen haben, der größere so viel mal mehr Gewicht hat, als der kleinere, so viel mal sein Volumen das des letzteren übertrifft.

Z. B. zwei Stücke Blei, von denen jedes 1 Cubik-Decimeter*) groß ist, wiegen gleich viel. Ein Stück von 3 Cubik-Decimeter wiegt 3mal so viel als ein Stück von 1 Cubik-Decimeter.

Hieraus folgt, daß sich die Stärke der Erdanziehung entweder nach dem Volumen, oder, da bei gleichartiger Substanz von dem Volumen die Masse des Körpers abhängt, nach der Masse richtet.

Nun zeigt aber die Erfahrung, daß Körper von verschiedener Substanz bei ungleichem Volumen gleiches Gewicht haben.

Z. B. 100 Gramm Kork sind größer als 100 Gramm Blei.

Also kann vom Volumen das Gewicht nicht abhängen. Es kann daher dasselbe sich nur nach der Masse oder nach der Art der Substanz richten. Das Letztere nimmt man nicht an, sondern glaubt, das Gewicht hänge blos von der Masse des Körpers ab, und schreibt den Körpern, die gleiches Gewicht haben, gleiche Masse zu, auch wenn das Volumen ungleich ist, und einem Körper, der nmal so viel wiegt, als ein anderer, eine nmal so große Masse, als diesem. Diese Ansicht werden wir später durch die Erscheinungen des freien Falles bestätigt finden.

Die Masse des Körpers wird also durch sein Gewicht bestimmt.

1 Kilogramm Kork, 1 Kilogramm Federn, 1 Kilogramm Blei haben gleiche Masse und jeder Körper, welcher 1 Kilogramm wiegt, hat so viel Masse, als das Gewichtsmaß Kilogramm, welches wir beim Abwägen mittelst der Wage gebrauchen.

Dichtigkeit. Specifische Gewicht.

Hat man von verschiedenen Materien gleich große Körper, z. B. von jeder einen Cubik-Decimeter, so hat jeder ein anderes Gewicht. Diese Verschiedenheit des Gewichtes muß nach der Ansicht, daß sich das Gewicht eines Körpers nach seiner Masse richtet, daher rühren, daß bei der einen Materie auf denselben Raum mehr Masse zusammengedrängt ist, die Massentheilchen müssen also dichter an einander liegen, als bei der anderen. Die verschiedenen Materien haben also verschiedene Dichtigkeit. Und man schreibt einer Materie eine nmal so große Dichtigkeit zu als einer anderen, wenn ein Raumtheil von ihr, z. B. ein Cubik-Decimeter, nmal so viel wiegt, als ein ebensolcher Raumtheil von der anderen.

Da nun also jede Art Materie (species) ihre eigenthümliche Dichtigkeit und demnach ein Cubik-Decimeter von jeder Materie sein eigenthümliches Gewicht hat, so sagt man kurzweg: Jede Materie hat ihr eigenthümliches Gewicht, oder, was dasselbe ist, ihr specifisches Gewicht. Man bestimmt also das specifische Gewicht einer Materie, wenn man angiebt, wie viel ein Cubik-Decimeter, oder ein Cubik-Meter u. dergl. wiegt. Da aber die Angabe des Gewichtes eines Körpers zugleich die Angabe seiner Masse ist, so ist die Bestimmung des specifischen Gewichts zugleich Bestimmung der Dichtigkeit.

Das specifische Gewicht oder die Dichtigkeit aller Materien mißt man mit dem specifischen Gewicht (der Dichtigkeit) des destillirten Wassers, d. h. man giebt an, wie viel mal mehr ein bestimmtes

---

*) Siehe hinten: Französisches Maß.

Volumen jeder Materie wiegt, als ein gleich großes Volumen destillirten Wassers und nennt diese unbenannten Zahlen selbst das specifische Gewicht der Materie.

Man sagt also z. B.: Das specifische Gewicht einer Materie ist = 4, und meint damit: ein Stück derselben wiegt 4mal so viel, als ein gleiches Volumen Wasser. Da man nun weiß, daß ein Cubik-Centimeter destillirten Wassers von 4° C. ein Gramm wiegt, so geben jene Zahlen, welche das specifische Gewicht ausdrücken, an, wie viel Gramm ein Cubik-Centimeter des fraglichen Stoffes wiegt, woraus sich dann das Gewicht jedes anderen Volumens berechnen läßt.

§ 7. Chemische Anziehung.

§ 7. In vielen Fällen, wo zwei Körper sich berühren, von denen einer oder beide flüssig oder luftförmig sind, vermischen sich ihre Theile so innig mit einander, daß sie bis auf die kleinsten Theile eine gleichartige Substanz bilden.

a. Behalten sie dabei alle ihre Eigenschaften bei, so ist das Ganze eine Mischung. Es findet hierbei eine gewisse Anziehung zwischen den Theilen beider Körper statt; denn die Theile des schwereren drängen sich zwischen die des leichteren, auch wenn der letztere oben, der schwerere unten war.

Legt man über ein zum Theil mit Wasser gefülltes Glas ein Stück Leinwand so, daß dasselbe die Wasserfläche berührt, gießt Weingeist darauf, und zieht die Leinwand behutsam heraus, so schwimmt der leichtere Weingeist oben; nach einiger Zeit ist jedoch die ganze Flüssigkeit gleichartig: das Wasser muß also nach oben, der leichtere Weingeist nach unten gezogen worden sein.

Essig und Wasser. — Der Sauerstoff der atmosphärischen Luft ist schwerer als der Stickstoff, gleichwohl mischen sich beide, auch wenn der Sauerstoff unten hin, der Stickstoff darüber gebracht wird; in der Atmosphäre bleiben beide gleichmäßig gemischt.

b. Verändert einer der beiden Körper dabei seinen Aggregatzustand, indem ein fester oder ein gasförmiger Körper in Berührung mit einem flüssigen selbst flüssig wird und sich mit ihm mischt, aber sonst unverändert bleibt, so heißt das Ganze eine Auflösung (Lösung).

Kochsalz löst sich in (der nöthigen Menge) Wasser; seine Farbe, Durchsichtigkeit, sein Geschmack u. s. w. bleiben; beim bloßen Verdunsten des Wassers bleibt wieder Kochsalz zurück. Ebenso löst sich Kohlensäuregas in Wasser (Selterser), es wird von ihm absorbirt. Nur vermöge des vom Wasser absorbirten Sauerstoffgases können Fische in demselben leben.

c. Verändern sich bei der Vereinigung der zwei Körper noch andere wesentliche Eigenschaften derselben, so heißt das Ganze eine chemische Verbindung.

Die Eigenschaften der chemischen Verbindung selbst aber hängen nicht blos von der Art der sich verbindenden Stoffe, sondern auch von dem Verhältniß ihrer Quantität ab, in der diese sich verbinden. Da nun, wenn man einen Körper, dessen Substanz eine chemische Verbindung ist, mechanisch auch in noch so kleine Theile theilt (etwa zerreibt), diese immer noch die wesentlichen Eigenschaften des Körpers behalten, so müssen in diesen Theilchen die Bestandtheile in demselben Quantitätsverhältnisse enthalten sein, als in dem ganzen Körper. Ein Theilchen

nun, welches gerade nur so viel Atome der Bestandtheile enthält, als nothwendig sind, um dieses Quantitätsverhältniß herzustellen, nennt man ein Molekül des Körpers.

Während also die kleinsten Theile, in welche sich ein einfacher Stoff zerlegen läßt, Atome heißen, nennt man die kleinsten Theile einer chemischen Verbindung Moleküle.

Als Grund der chemischen Verbindung nimmt man eine eigenthümliche Anziehung zwischen den einzelnen Atomen der Körper an, welche man chemische Anziehung (Affinität, Verwandtschaft) nennt.

Quecksilber und Schwefel bilden, chemisch verbunden, Zinnober.

§ 8. Wenn man einen Lampencylinder auf der einen Seite mit einer Thierblase zubindet, dann eine Lösung von Kupfervitriol hineingießt, und ihn so tief in ein Gefäß mit Wasser taucht, daß die beiden Flüssigkeiten in gleicher Höhe stehen, so steigt allmählich die Flüssigkeit im Cylinder, während sie in dem äußeren Gefäße sinkt, und das Wasser nimmt nach und nach die Farbe der Vitriollösung an. Befindet sich die Lösung im äußeren Gefäße und das Wasser im Cylinder, so steigt die Flüssigkeit im äußeren Gefäße. Dieser Vorgang findet so lange statt, bis die Flüssigkeiten in beiden Gefäßen gleichartig sind. Es muß also ein Theil des Wassers durch die Poren der Blase nach der Vitriollösung, und ein Theil von dieser, aber ein kleinerer, in das Wasser übergehen. § 8. Endosmose.

Man erklärt diese Erscheinung auf folgende Weise: Zwischen Kupfervitriol und Wasser findet eine chemische Anziehung statt, also suchen sie sich zu vereinigen. Die Poren der Blase gestatten aber dem Wasser einen leichteren Durchgang, als der Vitriollösung; daher sammelt sich in dem Gefäße, in welchem die Lösung sich befindet, mehr Flüssigkeit, als in dem andern. Der Druck, den die höher stehende Flüssigkeit nach unten ausübt, und vermöge dessen sich Flüssigkeiten in Gefäßen, welche mit einander in Verbindnng stehen, gleich hoch stellen, kann sich durch die Poren der Blase vielleicht deshalb nicht fortpflanzen, weil diese zu klein sind, und daher von der Cohäsion und Capillarattraction überwunden wird.

Die Richtigkeit dieser Erklärungsweise wird durch folgende Erscheinung bestätigt: Wird eine Blase in Wasser eingeweicht, so zieht ein Theil desselben in ihre Poren ein. Nimmt man sie dann wieder heraus und bestreut sie mit Salz, so fließt ein Theil des eingedrungenen Wassers wieder ab, und die Blase schrumpft zusammen. Dasselbe geschieht, wenn man sie, anstatt mit Salz zu bestreuen, in Alkohol legt.

Ein eben solches Uebergehen einer Flüssigkeit zur andern findet auch statt zwischen Wasser und der Lösung irgend eines anderen Salzes, zwischen Wasser und Zuckerlösung, Wasser und Weingeist u. dgl. m. Auch kann man statt des Cylinders mit der Blase ein Gefäß von ungebranntem Thon anwenden. Diesen Austausch von Flüssigkeiten durch eine poröse Scheidewand nennt man Endosmose.

Erster Abschnitt.

Ruhe und Bewegung der Körper.

A. Ruhe und Bewegung im Allgemeinen.

§ 9. Ruhe und Bewegung, absolute, relative.

§ 9. Verändert ein Körper den Raum, den er einnimmt (seinen Ort), so sagen wir, er **bewegt sich**; ist das nicht der Fall, so **ruht er**. Man unterscheidet absolute und relative Ruhe und Bewegung. **Absolute Ruhe oder Bewegung** ist das Beibehalten oder Verändern des Ortes im Weltraume. **Relative Ruhe oder Bewegung** ist das Beibehalten oder das Verändern des Ortes in Beziehung auf andere Körper.

Wir kennen keinen Körper, der in absoluter Ruhe wäre; denn gewisse Erscheinungen machen es mehr als wahrscheinlich, daß sich selbst die Sonne und die übrigen Fixsterne im Weltraume bewegen. Bäume, Häuser u. dergl. sind in Bewegung (absolut); oder sie sind in Ruhe in Beziehung auf andere Gegenstände der Erdoberfläche (also in relativer Ruhe).

Wir sind nur im Stande, die relative Bewegung wahrzunehmen.

In der Cajüte eines Schiffes bemerkt man bei ruhigem Wasser keine Bewegung desselben, selbst nicht, wenn es umgedreht wird; nur erst, wenn man durch's Fenster nach den Gegenständen am Ufer sieht, nimmt man die Bewegung wahr. Die Bewegung der Erde um ihre Achse, so wie die um die Sonne bemerkt man nur, wenn man die Sterne beobachtet.

Bei Beobachtung der relativen Bewegung sind wir oft nicht im Stande, zu unterscheiden, welcher von den beobachteten Körpern sich bewegt und welcher ruht.

Man hat Jahrhunderte hindurch geglaubt, der Himmel drehe sich täglich um die Erde und die Sonne laufe um dieselbe. Beobachtet man von einer Brücke aus längere Zeit den Eisgang eines Flusses, so scheint sich die Brücke zu bewegen und das Eis still zu stehen. Eine Krähe, die neben einem Eisenbahnzuge herfliegt, scheint in der Luft auf derselben Stelle zu bleiben.

§ 10. Was ist Ruhe? Trägheit?

§ 10. Die Veränderungen, welche ein Körper in Beziehung auf Ruhe und Bewegung erleidet (aber auch alle übrigen Veränderungen, z. B. des Volumens, des Aggregatzustandes u. dgl.), schreiben wir gewissen Ursachen zu, die wir **Kräfte** nennen.

Bewegung hervorbringende Kräfte sind z. B. die Muskelkraft der Menschen und Thiere, die Federkraft elastischer Körper, die Expansion luftförmiger Körper, die Erdschwere, der Stoß, welchen ein sich bewegender Körper auf einen andern Körper ausübt.

Lasten schaffen wir auf Wagen fort, welche von Menschen oder Pferden gezogen werden. Die Uhren werden durch eine Spiralfeder oder vermittelst der Gewichte durch die Erdanziehung in Bewegung gesetzt, der Pfeil durch die Federkraft des Bogens, die Eisenbahnzüge durch die Expansion des Wasserdampfes. Die Büchsenkugel wird durch die Expansion der durch Verbrennung des Pulvers entstehenden Luftarten, die Wassermühlen durch den Stoß des fließenden Wassers, die Windmühlen durch den Stoß des Windes getrieben.

Wir nehmen also an, daß kein Körper seinen Zustand von selbst verändert, und nennen deshalb die Körper oder die Materie träge (Trägheit, Beharrungsvermögen).

Es kann demnach ein ruhender Körper nicht in Bewegung und ein sich bewegender Körper nicht in Ruhe kommen, wenn nicht eine Kraft da ist, die ihn in den andern Zustand versetzt.

Die Kugel, welche von einer schiefen Ebene herunterrollt, ebenso das Wasser in den Flüssen, bewegt sich nicht von selbst, sondern wird von der Erdanziehung in Bewegung gesetzt. Wollen wir eine rollende Kugel aufhalten, so müssen wir eine gewisse Kraft anwenden. Ein Schlitten oder ein Wagen, der von einem Berge herabgefahren ist, bewegt sich in der Ebene noch eine ganze Strecke von selbst fort. Soll ein Eisenbahnzug anhalten, so muß nicht blos die Locomotive außer Thätigkeit gesetzt, sondern auch gebremst werden.

Hindernisse der Bewegung.

Die Erfahrung lehrt zwar, daß jeder sich bewegende Körper, wenn die bewegende Kraft zu wirken aufhört, nach einiger Zeit wieder zur Ruhe kommt; es lassen sich aber auch stets entgegenwirkende Kräfte oder Störungen der Bewegung nachweisen, welche die Bewegung wieder aufheben.

Solche Störungen sind: der Luftwiderstand, die Reibung und die Adhäsion; man nennt sie Hindernisse der Bewegung. Jeder sich bewegende Körper muß nämlich die Luft, welche in seiner Bahn liegt, verdrängen, wodurch die Bewegung, wenn nicht ganz aufgehoben, doch verzögert wird. Ist ein Körper bei seiner Bewegung mit einem anderen in Berührung, der nicht an seiner Bewegung Theil nimmt, z. B. wenn er auf einer Ebene fortrollt oder gleitet, so greifen die Erhöhungen seiner Oberfläche in die Vertiefungen der Fläche und umgekehrt ein, und es müssen nun, soll die Bewegung fortdauern, die Erhöhungen abgerissen werden, oder er muß über dieselben hinwegsteigen; dem Abreißen setzt sich die Cohäsion und dem Darüberhinwegsteigen die Erdanziehung entgegen. Bei der Reibung heben also die beiden Kräfte Erdanziehung und Cohäsion die Bewegung auf. Sind die sich berührenden Flächen sehr glatt, oder ist die eine eine Wasserfläche, so übt die Adhäsion einen störenden Einfluß auf die Bewegung aus.

Jeden Körper, den wir in die Höhe werfen, zieht die Erdanziehung zurück, das Fortrollen auf der Erdoberfläche hindert die Reibung. Ein flaches Eisstück, auf eine Eisfläche geworfen, kommt durch die Reibung und die Adhäsion wieder zur Ruhe. Wie stark die Adhäsion in manchen Fällen wirken kann, nimmt man recht deutlich wahr, wenn man ein Stückchen Spiegelglas auf einem andern Spiegelglase fortschiebt.

(Siehe § 19.)

Obgleich wir nun niemals im Stande sind, alle die Bewegung aufhebenden Kräfte zu beseitigen, also die Richtigkeit des Satzes, daß jeder in Bewegung befindliche Körper sich ohne Aufhören fortbewegt, durch den Versuch nachzuweisen, so geht doch die Richtigkeit desselben daraus hervor, daß die Bewegung desto länger dauert, je mehr wir die entgegenwirkenden Kräfte und Hindernisse beseitigen.

Ein Eisenbahnwagen bleibt länger in Bewegung, als ein Wagen auf der Chaussee, wenn die bewegende Kraft aufhört. Ein auf der Erde fortgerollter Stein kommt eher zur Ruhe, als ein auf eine Eisfläche geworfener Stein, und dieser wieder eher, als eine Kugel auf einer Eisfläche. Ein Rad, welches frei an einer Axe herumgedreht wird, dreht sich desto länger, je geringer die Reibung an dieser ist.

Auch das Umgekehrte ist richtig: So oft eine Kraft, sei sie auch noch so gering, auf einen Körper wirkt, so erfolgt eine Bewegung, wenn nicht eine andere Kraft ihre Wirkung wieder aufhebt.

Wir folgern dies aus der Erfahrung, daß zur Bewegung jedes Körpers eine desto kleinere Kraft hinreicht, je mehr die entgegenwirkenden Kräfte beseitigt sind.

Ein Schiff, welches mehr als 1000 Ctr. wiegt, kann bei ruhigem Wasser und ruhiger Luft von einem einzigen Manne fortgezogen werden. Die schwerste Last, die frei an einem Seile hängt, kann man mit einem Finger in Bewegung bringen; und doch sind hier noch entgegenwirkende Kräfte zu überwinden. — Welche? —

Ein Kind, welches im Zimmer herumspringt, bringt die Mauern des Gebäudes oft so in Bewegung, daß die Fenster zittern.

Gleichgewicht. Wenn auf einen Körper mehrere Kräfte wirken, welche sich aufheben, also keine Bewegung hervorbringen, so sagt man, der Körper sei im Gleichgewicht.

Da auf jeden Körper wenigstens eine Kraft, die Erdschwere, wirkt, so kann man von jedem ruhenden Körper sagen, er sei im Gleichgewicht.

§ 11. Geschwindigkeit. **§ 11.** Erklärungen. 1) Geschwindigkeit eines Körpers ist das Verhältniß des Weges, den ein Körper durchläuft, zu der Zeit, die er dazu gebraucht.

Zur Bestimmung der Geschwindigkeit gehört demnach eine Raum- und eine Zeitangabe, z. B. ein Eisenbahnzug legt in einer Stunde 4 Meilen zurück. Sagt man dann: er legt in 2 Stunden 8 Meilen, oder in 3 Stunden 12 Meilen zurück, so ist damit immer dieselbe Geschwindigkeit ausgedrückt; denn das Verhältniß der Zeit und des Raumes bleibt dasselbe, wiewohl die Zahlen für die Zeit, wie für den Raum sich ändern.

Arten der Bewegung. 2) Von einem Körper, welcher seine Geschwindigkeit unverändert beibehält, sagt man, er habe eine gleichförmige Bewegung.

Der Gegensatz hiervon ist ungleichförmige Bewegung. Diese nennt man beschleunigt oder vergrößert, je nachdem die Geschwindigkeit zu- oder abnimmt.

Die einzige gleichförmige Bewegung, welche wir kennen, ist die Bewegung der Erde um ihre Achse. Man erstrebt bei allen Maschinen gleichförmige

Bewegung. Eine beschleunigte Bewegung ist der freie Fall, so wie der Fall auf der schiefen Ebene, eine verzögerte das Aufsteigen eines senkrecht in die Höhe geworfenen Körpers.

Die Geschwindigkeit eines gleichförmig oder doch annähernd gleichförmig sich bewegenden Körpers drückt man gewöhnlich dadurch aus, daß man den in einer Secunde zurückgelegten Weg angiebt, und nennt dann diesen Weg kurzweg die Geschwindigkeit. Man sagt z. B., die Geschwindigkeit eines Körpers ist 3 Meter, und versteht darunter: der Körper legt in einer Secunde 3 Meter zurück. Dies läßt sich durch die Formel:

$$c = \frac{s}{t}$$

ausdrücken, wo c die Geschwindigkeit, s den zurückgelegten Weg und t die dazu gehörige Zeit bedeutet.

Da bei der beschleunigten oder verzögerten Bewegung sich die Geschwindigkeit in jedem Momente (Augenblicke) ändert, so bestimmt man hier die Geschwindigkeit für einen bestimmten Zeitpunkt dadurch, daß man angiebt, welchen Weg der Körper in einer Secunde zurücklegen würde, wenn er die Geschwindigkeit des bezeichneten Zeitpunktes eine ganze Secunde lang beibehielte.

Man sagt z. B., ein frei fallender Körper hat, wenn er eine Secunde lang gefallen ist, eine Geschwindigkeit von 9,809 Meter, d. h. er würde, wenn er mit der Geschwindigkeit, die er am Ende der ersten Secunde hat, eine Secunde lang sich gleichförmig fortbewegte, 9,809 Meter zurücklegen.

§ 12. Setzt eine Kraft einen Körper in Bewegung, so treten wegen der Trägheit der Materie folgende Erscheinungen ein: (§ 12. Trägheits-Erscheinungen. Mittheilung der Bewegung und Ruhe.)

1) Wirkt eine Kraft nur auf einige Theile des Körpers, so vergeht einige Zeit, ehe die ganze Masse desselben in Bewegung kommt, weil sich die Bewegung von den getroffenen Theilen auf die übrigen fortpflanzen muß; und kommen einige Theile eines sich bewegenden Körpers zur Ruhe, so vergeht einige Zeit, ehe sich die Ruhe den übrigen mittheilt.

Legt man über ein Bierglas ein Kartenblatt, auf dieses ein Geldstück, und schnellt dann ersteres mit dem Finger fort, so fällt das Geldstück in das Glas. Drückt man langsam mit einem Stocke gegen die Scheibe eines offen stehenden Fensters, so bewegt sich dasselbe, ohne daß die Scheibe zerbricht; sie zerbricht aber, wenn man den Stock mit größerer Geschwindigkeit bewegt; die Scheibe erhält gewöhnlich nur ein rundes Loch, ohne daß sie zertrümmert, und ohne daß sich das Fenster bewegt, wenn man eine Kugel durch dasselbe schießt. Steht man in einem Wagen und die Pferde ziehen plötzlich an, so fällt man rückwärts; hält der Wagen im Fahren plötzlich an, so fällt man vorwärts. Springt man von einem fahrenden Wagen hinab, so fällt man in der Richtung, in welcher der Wagen fährt. Wie muß man daher herabspringen, um nicht zu fallen und warum? Die auf dem Stiele locker gewordene Axt befestigt man, indem man mit ersterem gegen den Boden stößt. Der Reiter stürzt nach vorn, wenn das Pferd im schnellen Laufe plötzlich still steht.

Bewegung, wenn die Kraft zu wirken aufhört.

2) Hört die bewegende Kraft auf zu wirken, so behält der Körper die erlangte Geschwindigkeit und die Richtung der Bewegung ohne Aufhören bei, wenn nicht eine andere Kraft ihn daran hindert.

Wir kennen zwar keinen Fall, daß ein Körper ohne Aufhören die Richtung und die Geschwindigkeit seiner Bewegung beibehielte: wir erkennen das Gesetz aber daraus, daß ein Körper desto länger die erlangte Richtung und Geschwindigkeit beibehält, je weniger Kräfte ihm entgegenwirken. Beispiele siehe § 10. Ein Stein, der mit der Hand geworfen wird, würde sich mit derselben Geschwindigkeit und in derselben Richtung, welche die Hand in dem Augenblicke hat, wo sie ihn losläßt, fortbewegen, wenn nicht der Luftwiderstand und die Anziehung der Erde dies hinderten. Ebenso verhält es sich mit einem abgeschossenen Pfeile und einer abgeschossenen Kugel. Ein Stein, welchen man aus einem Eisenbahnwagen während des Fahrens fallen läßt, bleibt nicht zurück, sondern befindet sich, bis er die Erde trifft, senkrecht unter der Hand, die ihn hielt. Läßt man einen Stein von einem hohen Thurme herab oder in einen tiefen Schacht fallen, so trifft er die Erde nicht in der von der Hand aus gezogenen Verticalen, sondern ein wenig östlich von dieser. Dies ist ein directer Beweis von der Achsendrehung der Erde. Denn der Stein hat, so lange er in der Hand gehalten wird, wegen der Achsendrehung der Erde eine Bewegung von Westen nach Osten und diese behält er während des Fallens bei. Da nun bei der Erdumdrehung die Spitze des Thurmes in derselben Zeit, nämlich in 24 Stunden, einen größeren Kreis beschreibt, als der Fuß desselben, so hat der Stein eine größere Geschwindigkeit von West nach Osten, als der Fuß des Thurmes, und kommt daher in derselben Zeit weiter nach Osten, als dieser. Ebenso beim Schachte.

Bewegung während der Wirkungsdauer der Kraft.

3) So lange eine Kraft auf einen Körper wirkt, nimmt die Geschwindigkeit desselben zu, d. h. die Bewegung ist eine beschleunigte, und zwar wächst die Geschwindigkeit, wenn die Kraft immer mit gleicher Stärke wirkt, in gleichen Zeiten um gleich viel.

Bemerkung. Durch die Hindernisse der Bewegung erleidet auch dieses Gesetz seine Beschränkungen, die wir aber hier und auch in den folgenden Untersuchungen unberücksichtigt lassen wollen, wenn nicht ausdrücklich auf sie hingewiesen wird. Auch wollen wir immer nur von solchen Kräften sprechen, welche während ihrer Wirkungsdauer mit unveränderter Stärke wirken.

Wenn also einem ruhenden Körper durch eine solche Kraft in der ersten Secunde eine Geschwindigkeit von g Meter ertheilt wird, so wächst diese auch in jeder folgenden Secunde um g Meter und der Körper hat nach t Secunden eine Geschwindigkeit von $t \cdot g$ Meter.

Beweis. Die anhaltend wirkende Kraft können wir uns als eine Kraft denken, welche dem Körper einzelne momentane Stöße giebt, die in unendlich kleinen Zwischenräumen auf einander folgen. Wir wollen einen solchen unendlich kleinen Zeitraum einen Moment nennen. Gesetzt nun, der Körper bewege sich durch den 1. Stoß w Millimeter weit, so wird er im 2. Moment wegen des Beharrungsvermögens w Millimeter und außerdem durch den 2. Stoß noch w Millimeter, also zusammen $2\,w$ Millimeter weit gehen. Im 3. Moment wird er wegen des Beharrungsvermögens $2\,w$ Millimeter und durch den neuen Stoß noch w Millimeter, also zusammen $3\,w$ Millimeter sich bewegen u. s. w. Der Körper bewegt sich also

im 1. Moment w Millimeter
" 2. " 2w "
" 3. " 3w "
" 4. " 4w "
. .
. .
. .
" t. " tw "
u. s. w.

Wenn nun der Körper sich mit der Geschwindigkeit, die er im t. Moment erreicht hat, eine ganze Secunde lang gleichförmig fortbewegte, also in jedem Momente tw Millimeter zurücklegte und dadurch in dieser Zeit eine Strecke von k Meter durchliefe, so würde er, wenn er erst nach 2t Momenten eine gleichförmige Bewegung annähme, in der Secunde 2k Meter durchlaufen, weil er in jedem Momente 2tw Millimeter durchliefe. Somit ist bewiesen, daß wenn die Geschwindigkeit in einem beliebigen Zeitraume von o bis k Meter wächst, im nächsten eben so großen Zeitraum wieder um k Meter zunimmt.

Erklärung. Die Geschwindigkeitszunahme eines in beschleunigter Bewegung befindlichen Körpers während einer Secunde nennt man die Beschleunigung der Bewegung.

§ 13. Alle uns bekannten, Bewegung hervorbringenden Kräfte wirken längere Zeit auf den zu bewegenden Körper, bringen also während dieser Zeit eine beschleunigte Bewegung hervor. Hört die Kraft auf zu wirken, so wird die Bewegung wegen der Hindernisse eine verzögerte und der Körper kommt endlich wieder zur Ruhe.

§ 13. Alle Kräfte wirken längere Zeit.

Das Pulver, welches die Kugel aus dem Büchsenlaufe treibt, wirkt so lange auf diese, als sie sich im Laufe befindet und noch etwas länger; die Kugel hat daher ein Stück vor dem Laufe ihre größte Geschwindigkeit; von da an wird ihre Bewegung eine verzögerte. Beim Ballschlagen wirkt die Kraft so lange auf den Ball, als er mit der Ballkeule in Berührung ist. Der Pfeil wird so lange von der Bogensehne getrieben, bis er sie verläßt, der geworfene Stein von der Hand, so lange er sich in ihr befindet. Setzen Pferde einen beladenen Wagen in Bewegung, so geht er anfangs ganz langsam von seiner Stelle, dann immer schneller, endlich ziemlich gleichförmig, wobei dann die Pferde, wenn der Weg horizontal ist, nur so stark ziehen, daß die Reibung überwunden wird. Dasselbe findet statt, wenn die Locomotive einen Eisenbahnzug in Bewegung setzt.

§ 14. Die Größe der Kräfte können wir, da sie selbst unserer Anschauung unzugänglich sind, nur nach der Größe ihrer Wirkungen beurtheilen. Es ist uns im Allgemeinen bekannt, daß wir zur Bewegung eines Körpers desto mehr Kraft gebrauchen, je größer seine Masse ist, und eine je größere Geschwindigkeit er bei einer bestimmten Wirkungsdauer der Kraft erhalten soll.

§ 14. Größe der Kräfte, ausgedrückt durch die Masse und Geschwindigkeit.

Werfen wir einen Stein, so müssen wir desto mehr Kraft anwenden, je schwerer er ist und je schneller er fliegen soll. Vor einen beladenen Wagen spannt man desto mehr Pferde, je schwerer er ist und je schneller er fahren soll. Eine Kanonenkugel erfordert mehr Pulver, als eine Büchsenkugel, und zwar desto mehr, je weiter man schießen will, also mit je größerer Geschwindigkeit sie den Lauf verlassen soll.

Wir nehmen nun an:

a) Eine nmal so große Masse oder b) eine nmal so große Beschleunigung erfordert auch eine nmal so große Kraft.

Bemerkung. Für das Folgende sei in Erinnerung gebracht, daß ein Körper, der nmal so viel wiegt, als ein anderer, auch nmal so viel Masse hat.

Beispiele zu a. Bewegt sich eine Kugel von 3 Kilogramm mit derselben Geschwindigkeit, als eine Kugel von 1 Kilogramm, so muß die sie treibende Kraft 3mal so groß gewesen sein, als diejenige, welche die von 1 Kilogramm in Bewegung gesetzt hat, wenn nämlich beide Kräfte gleich lange gewirkt haben. Haben zwei Eisenbahnzüge, von denen der eine 6000 Ctr., der andere 2000 Ctr. schwer ist, am Ende der 8. Minute nach ihrer Abfahrt auf derselben Bahnstrecke gleiche Geschwindigkeit, so hat die Locomotive des ersten Zuges mit 3mal so großer Kraft gearbeitet, als die des zweiten.

Beispiele zu b. Die Kraft, welche einer Kugel in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 10 Meter ertheilt, ist 5mal so groß, als die Kraft, welche einer eben so schweren Kugel in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 2 Meter ertheilt. Haben zwei Eisenbahnzüge gleiches Gewicht, aber der eine hat Anfangs der 6. Minute nach seiner Abfahrt eine 3mal so große Geschwindigkeit als der andere, so hat die Locomotive des ersteren mit 3mal so großer Kraft gewirkt, als die des zweiten Zuges. Wir haben auch hier wieder die Hindernisse der Bewegung unberücksichtigt gelassen.

Anmerkung. Daß eine größere Masse eine größere Kraft erfordert, um in einer gewissen Zeit eine gewisse Geschwindigkeit zu erhalten, liegt nicht daran, daß sie von der Erde stärker angezogen wird, sondern liegt in der Natur der Materie; denn das Gesetz gilt ja auch, wenn die Erdanziehung aufgehoben ist, wie das bei allen auf einer horizontalen Fläche ruhenden Körpern, z. B. bei Schiffen, Eisenbahnzügen und bei Körpern der Fall ist, welche an einer Schnur hängen.

Die Größe einer Kraft wird gemessen durch eine Kraft, welche einem Körper von einer Massen-Einheit (etwa der Masse, welche ein Kilogrammgewicht hat) in einer Secunde eine Geschwindigkeit von einer Längen-Einheit (einem Meter) ertheilt, und die man Kraft-Einheit nennt; dann ist:

Der Zahlen-Ausdruck für die Größe einer Kraft ist = dem Producte aus der Masse des von ihr in Bewegung gesetzten Körpers und der Beschleunigung seiner Bewegung,

d. i. $v = m . j$

d. h. Eine Kraft v, welche m Massen-Einheiten eine Beschleunigung von j Meter ertheilt, ist gleich mj Kraft-Einheiten.

Beweis. Wenn m Massen-Einheiten eine Beschleunigung von 1 Meter ertheilt werden soll, so sind m Kraft-Einheiten nöthig, und soll die Beschleunigung nicht 1 Meter, sondern j Meter sein, so sind jmal so viel, also jm Kraft-Einheiten nöthig.

Z. B. Wenn eine Locomotive einem Eisenbahnzuge von 3000 Ctr. Gewicht in einer Minute eine Geschwindigkeit von 12 Meter ertheilt hat, so ist die Kraft, mit der sie gewirkt hat, 3000 . 12mal so groß, als eine Kraft, die einem Körper von 1 Ctr. in 1 Minute eine Geschwindigkeit von 1 Meter ertheilt, denn ein Körper von 3000 Ctr. hat 3000mal so viel Masse, als ein Körper von einem Centner.

Die Erdanziehung ertheilt jedem freifallenden Körper in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 9,809 Meter; sie wirkt also z. B. auf einen Körper von 3 Massen-Einheiten mit einer Kraft von 3 . 9,809 Kraft-Einheiten. Ist die Masse eines Körpers = m und drückt man die Beschleunigung der Erdschwere durch g aus, so zieht ihn letztere mit einer Kraft von mg Kraft-Einheiten an. Da aber der Körper, wenn er durch eine horizontale Unterlage am Fallen gehindert wird, mit dieser Kraft gegen die Unterlage gedrückt wird, so ist auch sein Gewicht = mg, d. i.

$$p = mg$$

d. h. in Worten: das Gewicht eines Körpers ist gleich dem Producte aus seiner Masse und der Beschleunigung der Erdschwere.

Daraus folgt:

$$m = \frac{p}{g}$$

d. h. die Masse eines Körpers ist gleich seinem Gewichte dividirt durch die Beschleunigung der Erdschwere.

§ 15. Sowie man aus der Größe der Masse und Beschleunigung eines in Bewegung gesetzten Körpers die Größe der ihn treibenden Kraft erkennen kann, so läßt sich auch aus der Größe der bewegenden Kraft und der Masse des bewegten Körpers dessen Beschleunigung finden; denn da nach dem vorigen Paragraph v = mj ist, so ist

§ 15. Verhältniß der Geschwindigkeiten, ausgedrückt durch Kraft und Masse.

$$j = \frac{v}{m}$$

d. h. in Worten: Die Beschleunigung ist gleich der Kraft, dividirt durch die Masse; oder: Eine Kraft von v Kraft-Einheiten ertheilt einem Körper von m Massen-Einheiten in einer Secunde eine Geschwindigkeit von $\frac{v}{m}$ Längen-Einheiten.

Hieraus ergiebt sich 1stens, daß wenn von zwei gleichen Massen die eine mit nmal so großer Kraft getrieben wird, als die andere, die erstere in derselben Zeit eine nmal so große Geschwindigkeit erhält und 2tens, daß wenn zwei verschiedene Massen von gleichen Kräften getrieben werden, die nmal so große Masse in derselben Zeit eine nmal so kleine Geschwindigkeit bekommt.

Beispiele zu a. Werden zwei Kähne von gleicher Masse an Seilen gezogen und zwar der eine von 3 Männern, der andere von 1 Mann, so muß der erste in einer bestimmten Zeit eine 3mal so große Geschwindigkeit haben, als der zweite, vorausgesetzt, daß jeder der Männer gleich stark gezogen hat.

Eine Locomotive A, welche mit doppelt so großer Kraft arbeitet, als eine andere B, ertheilt einem Eisenbahnzuge in einer gewissen Zeit eine doppelt so große Geschwindigkeit, als ihm B in dieser Zeit ertheilt.

Zu b. Einem Eisenbahnzuge A, der doppelt so viel Masse hat, als ein anderer B, ertheilt ein und dieselbe Locomotive nur halb so viel Geschwindigkeit, als sie dem B ertheilt.

Anmerkung. In dem letzten Beispiele, so wie in den früheren Beispielen von Eisenbahnzügen ist unter Masse des Bahnzuges nicht blos die der Personen- und Lastwagen zu verstehen, sondern es ist darin die Masse der Locomotive mit inbegriffen; denn die Dampfkraft muß ja auch sie in Bewegung setzen. In dem ersten Beispiele hätte zur Masse der Kähne eigentlich die Masse der ziehenden Männer addirt werden sollen. Da diese aber im Vergleich zu der der Kähne sehr gering ist, so konnte sie ohne bedeutenden Fehler unberücksichtigt bleiben. Man würde aber einen großen Fehler machen, wenn man folgendermaßen schließen wollte: Wenn man einem Steine von 200 Gramm durch Werfen mit der Hand eine Geschwindigkeit von 6 Meter ertheilt, so muß bei demselben Kraftaufwande ein Stein von 20 Gramm eine Geschwindigkeit von 10 . 6 Meter erhalten. Denn da nicht blos der Stein, sondern der Stein und der Arm die durch die Muskelkraft zu bewegende Masse ist, so ist diese im zweiten Falle bei weitem nicht 10mal so klein, als im ersten, und also auch die Geschwindigkeit nicht 10mal so groß. Eben so wenig kann man schließen: Wenn ein Pferd einem 20 Ctr. schweren Wagen in einer gewissen Zeit eine Geschwindigkeit von 1 Meter ertheilt, so ertheilt es bei derselben Kraftanstrengung in derselben Zeit einem Wagen von 1 Ctr. Gewicht eine Geschwindigkeit von 20 Meter, weil die zu bewegende Masse nicht blos die des Wagens, sondern die des Wagens und des Pferdes ist.

Durch die Formel $j = \frac{v}{m}$ lassen sich auch Aufgaben folgender Art lösen: An einem Kahn von 1800 Ctr. ziehen 10 Männer und an einem andern von 600 Ctr. 5 Männer gleich lange und jeder mit gleicher Kraft; wie viel mal so groß ist die Geschwindigkeit des zweiten Kahnes, als die des ersten?

Auflösung. Nehmen wir die Kraft eines Mannes als Kraft-Einheit, und die Masse eines Centners als Massen-Einheit (so daß die Einheit für die Geschwindigkeit diejenige Geschwindigkeit ist, welche ein Mann einer Masse von einem Centner in einer Zeit-Einheit ertheilt), so ist für den ersten Kahn $j = \frac{10}{1800}$, für den zweiten Kahn $J = \frac{5}{600}$,

$$\text{also } \frac{J}{j} = \frac{\frac{5}{600}}{\frac{10}{1800}} = \frac{3}{2},$$

d. i. $J = \frac{3}{2} . j$. Die Geschwindigkeit des zweiten Kahnes ist also $\frac{3}{2}$ mal so groß als die des ersten.

Oder: Eine Büchsenkugel, welche 20 Gramm wiegt, werde mit 4 Gramm Pulver und eine andere von 30 Gramm Gewicht mit 12 Gramm Pulver geschossen, so ist, wenn wir die Geschwindigkeit der ersten in dem Augenblicke, wo die Wirkung des Pulvers aufhört, mit C, die der zweiten mit c bezeichnen, und die Masse eines Grammes als Massen-Einheit annehmen,

$$\frac{C}{c} = \frac{\frac{4}{20}}{\frac{12}{30}} = \frac{1}{2},$$

d. h. die Geschwindigkeit der ersten ist halb so groß, als die der zweiten.

§ 16. Wird von zwei gleichen Massen die eine (A) von einer nmal so großen Kraft getrieben, als die andere (B), so legt A in derselben Zeit auch einen nmal so großen Weg zurück, als B, weil die nmal so große Kraft eine nmal so große Beschleunigung erzeugt. § 16. Verhältniß der zurückgelegten Wege.

Werden also zwei Körper, welche gleiche Masse haben, von Kräften getrieben, deren eine 8mal so groß ist als die andere, so legt der von der größeren Kraft getriebene Körper in den ersten 5, 6 oder n Minuten auch einen 8mal so großen Weg zurück, als der andere in den ersten 5, 6 oder n Minuten.

§ 17. Von einem in Bewegung befindlichen Körper sagt man, er habe eine große Bewegung, oder er habe eine große Menge, große Quantität der Bewegung, wenn ein großer Kraftaufwand erforderlich ist, seine Bewegung aufzuheben, d. i. ihn wieder in Ruhe zu versetzen. § 17. Quantität der Bewegung.

Ein Körper kann eine sehr große Geschwindigkeit und dabei doch eine sehr kleine Bewegung haben und ein anderer kann sich sehr langsam bewegen, und seine Bewegung doch sehr groß sein; z. B.: Ein leichter Handschlitten kann, wenn er auch mit großer Geschwindigkeit von einer Anhöhe herabkommt, mit geringer Kraft aufgehalten werden, während ein abgelöster, aber noch in langsamer Bewegung begriffener Eisenbahnwagen nur durch die ganze Kraft-Anstrengung mehrerer Männer zum Stillstande gebracht werden kann. Eine Kegelkugel und eine Kanonenkugel, die mit gleicher Geschwindigkeit auf einer Ebene dahinrollen, erfordern einen sehr verschiedenen Kraftaufwand, um sie aufzuhalten.

Die Quantität der Bewegung eines Körpers ist desto größer, je größer seine Masse und seine Geschwindigkeit ist, und zwar ist die des Körpers A nmal so groß, als die eines anderen B, wenn bei gleicher Geschwindigkeit A eine nmal so große Masse, oder bei gleicher Masse nmal so große Geschwindigkeit hat, als B. Verhältniß derselben.

Die Quantität der Bewegung wird gemessen durch diejenige eines Körpers, dessen Masse eine Massen-Einheit ist und der in einer Zeit-Einheit eine Längen-Einheit durchläuft. Man erhält dann:

Der Zahlen-Ausdruck für die Quantität der Bewegung eines Körpers ist das Product aus seiner Masse und seiner Geschwindigkeit,

$$\text{d. i. } Q = M \,.\, C.$$

Hat also ein Körper M Massen-Einheiten und C Meter Geschwindigkeit, so ist seine Bewegungsquantität M . Cmal so groß, als diejenige eines Körpers, welcher 1 Massen-Einheit und 1 Meter Geschwindigkeit hat; denn die Mmal so große Masse macht die Bewegungsmenge Mmal und die Cmal so große Geschwindigkeit noch Cmal so groß, als die des letztgenannten Körpers.

Das Product M . C wird gewöhnlich selbst die Bewegungs-Quantität genannt.

Die Bewegungs-Quantität, welche eine Kraft einem Körper ertheilt, bleibt dieselbe, mag dieser eine große oder kleine Masse haben; denn gesetzt, eine Kraft ertheile in einer gewissen Zeit einem Körper von m Massen-Einheiten eine Geschwindigkeit von c Meter, so ertheilt sie in derselben Zeit einem Körper von nm Massen-Einheiten eine Geschwindigkeit von $\frac{c}{n}$ Meter. Die Bewegungs-Quantität des ersteren ist $= mc$, des letzteren $= nm \frac{c}{n} = mc$.

§ 18. Zusammensetzung der Kräfte.

§ 18. 1) Zwei oder mehrere Kräfte, die in derselben Richtung auf einen Körper wirken, ertheilen ihm in t Secunden eine Geschwindigkeit, die gleich der Summe der Geschwindigkeiten ist, welche die Kräfte, einzeln wirkend, in t Secunden hervorbringen würden, und der Weg, den der Körper in irgend einer Zeit zurücklegt, ist gleich der Summe der Wege, die er zurücklegen würde, wenn ihn die Kräfte einzeln trieben.

Z. B. Wird ein Schiff vom Winde und von einer Dampfmaschine zusammen in derselben Richtung getrieben und ertheilt ihm in den ersten 2 Minuten seiner Bewegung der Wind allein eine Geschwindigkeit von 1 Meter, die Dampfkraft allein eine Geschwindigkeit von 2 Meter, so erreicht es in den 2 ersten Minuten eine Geschwindigkeit von 3 Meter. Ferner: Ist der Weg, den ein Schiff in den ersten 7 Minuten, vom Winde allein getrieben, zurücklegen würde, 20 Meter, und der Weg, den es wegen der Dampfkraft zurücklegen würde, gleich 30 Meter, so legt es, wenn es von beiden Kräften zusammen getrieben wird, in den ersten 7 Minuten $20 + 30$, d. i. 50 Meter zurück.

2) Wirken zwei Kräfte in entgegengesetzter Richtung auf einen Körper, so bewegt er sich in der Richtung der größeren, und zwar mit der Differenz der Geschwindigkeiten, welche die beiden Kräfte einzeln erzeugen würden; und der Weg, den er in irgend einer Zeit zurücklegt, ist gleich der Differenz der Wege, die er zurücklegen würde, wenn die Kräfte ihn einzeln trieben.

Bilde Beispiele wie in Nr. 1.

Erklärung. Diejenige Kraft, welche dieselbe Wirkung hervorbringt, als zwei oder mehrere zusammen auf einen Körper wirkende Kräfte, heißt die Resultirende dieser Kräfte.

Parallelogramm der Kräfte.

3) Parallelogramm der Kräfte. a. Wirken zwei Kräfte unter einem Winkel auf einen Körper, so erhält man den Weg, den derselbe in irgend einer Zeit durchläuft, wenn man aus den beiden Wegen, die er in dieser Zeit zurücklegen würde, wenn ihn die Kräfte einzeln trieben, ein Parallelogramm construirt und von dem Orte des Körpers aus eine Diagonale zieht (vorausgesetzt, daß die Stärke der Kräfte unverändert bleibt).

Beweis. Gesetzt, der Körper befinde sich in a (Fig. 3), und ab und ac seien die beiden Wege, welche er in einer bestimmten Zeit, etwa in n Secunden, zurücklegen würde, wenn ihn die Kräfte einzeln trieben. Da die Kräfte zugleich auf den Körper wirken, so kann er weder in der Richtung ab, noch in der Richtung ac sich bewegen, weil jede der Kräfte ihn von der Richtung der andern ablenkt. Die eine Kraft, die ihn von a nach b treiben würde, lenkt ihn von der Richtung ac um das Loth s ab, die andere lenkt ihn von der Richtung ab um das Loth q ab. Der Körper wird sich also nach n Secunden in einem Punkte befinden, der von der Richtung ac um das Loth s, und von der Linie ab um das Loth q entfernt ist. Das ist aber der Durchschnittspunkt der Parallelen, die man durch c und b zu ab und ac zieht, nämlich der Durchschnittspunkt von cg und bg, d. i. g. Denn alle Punkte, die von ac um s entfernt sind, liegen in der Linie bg, und alle Punkte, die von ab um q entfernt sind, liegen in der Linie cg. Der Körper muß sich also in den n Secunden von a nach g bewegen. Es muß nun noch bewiesen werden, daß er sich in gerader Linie von a nach g bewegt: Wenn zwei Kräfte zu gleicher Zeit in verschiedener Richtung einem Körper einen momentanen Stoß geben, so muß er sich wegen des Beharrungsvermögens in gerader Linie bewegen. Denken wir uns nun die beiden Kräfte, wie in § 12, in unendlich schnell auf einander folgenden Stößen wirkend, und die eine treibt ihn für sich allein im ersten Moment von a bis b (Fig. 4), die andere von a bis c, so geht er, wenn beide zugleich wirken, in der geraden Linie ad, d. i. der Diagonale des Parallelogramms abdc. Im zweiten Momente treibt ihn das Beharrungsvermögen in dieser Richtung weiter, und außerdem ertheilt ihm die erste Kraft einen Stoß, welcher ihn allein von d nach f, und die andere einen Stoß, welcher ihn von d nach k treiben würde, wo df = ab und dk = ac ist. Die beiden Stöße treiben ihn daher in der Diagonale dg. Diese bildet aber mit ad eine gerade Linie. Denn △ adc ≅ △ dfg, weil df = dc, fg = ac und ∠ dfg = ∠ dca; folglich ∠ fdg = ∠ adc, und da df mit dc eine gerade Linie bildet, so muß auch ad mit dg in gerader Linie liegen. Folglich wird der Körper im zweiten Momente sowohl durch das Beharrungsvermögen, als auch durch die neuen gleichzeitigen Stöße in der Richtung dg, d. i. in der ursprünglichen Richtung ad weiter getrieben. Ebenso läßt sich beweisen, daß er in den folgenden Momenten diese Richtung beibehält.

Fig. 3.

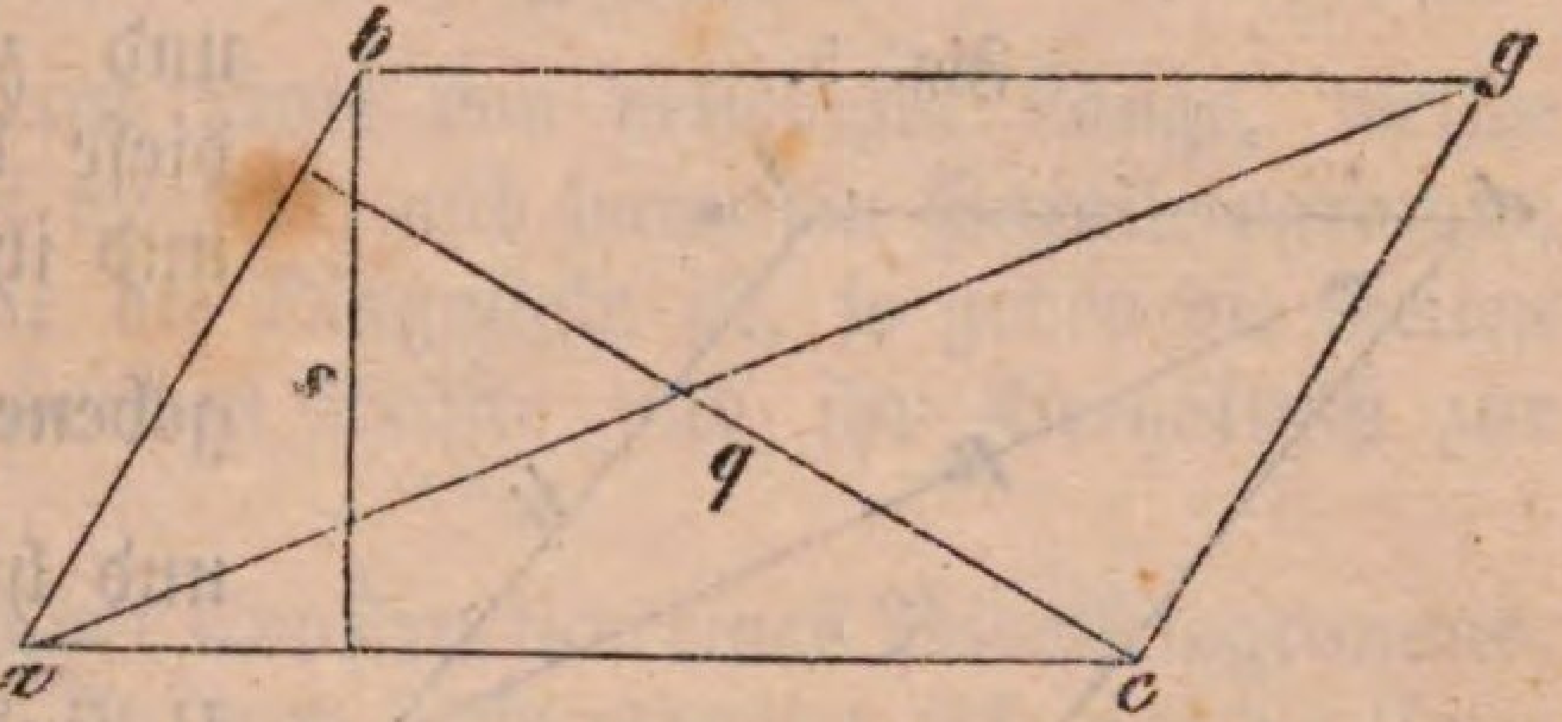
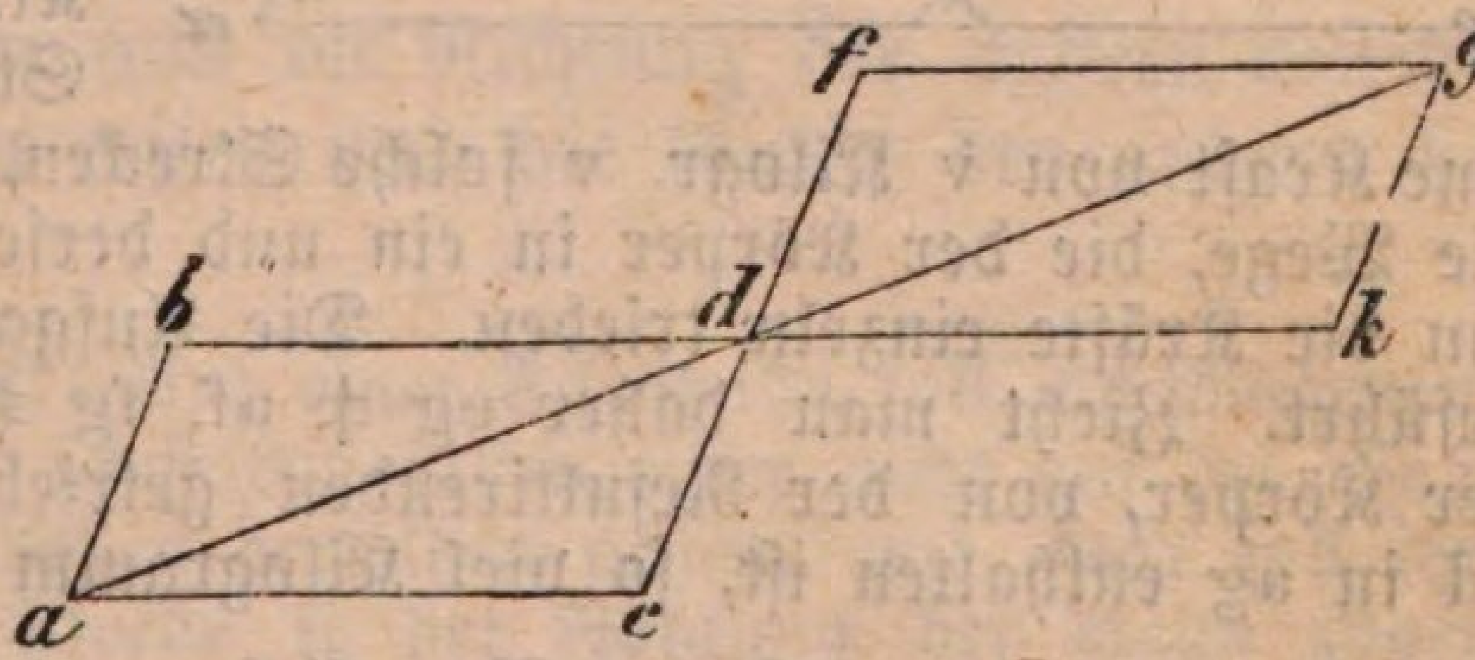


Fig. 4.

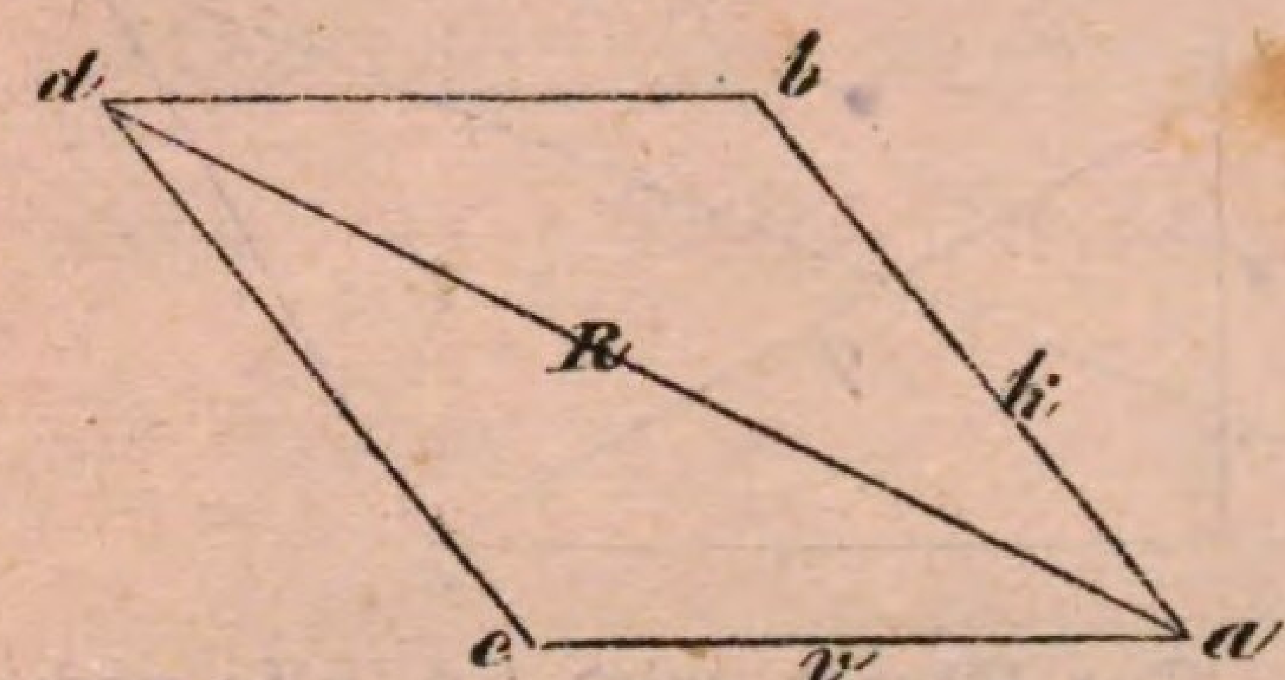


Da nun nach § 16 die in gleichen Zeiten zurückgelegten Wege ein und desselben Körpers das Verhältniß der treibenden Kräfte darstellen, so kann man vermittelst jenes Parallelogramms auch folgende Aufgabe lösen:

b. Für zwei unter einem Winkel wirkende Kräfte die Resultirende zu finden.

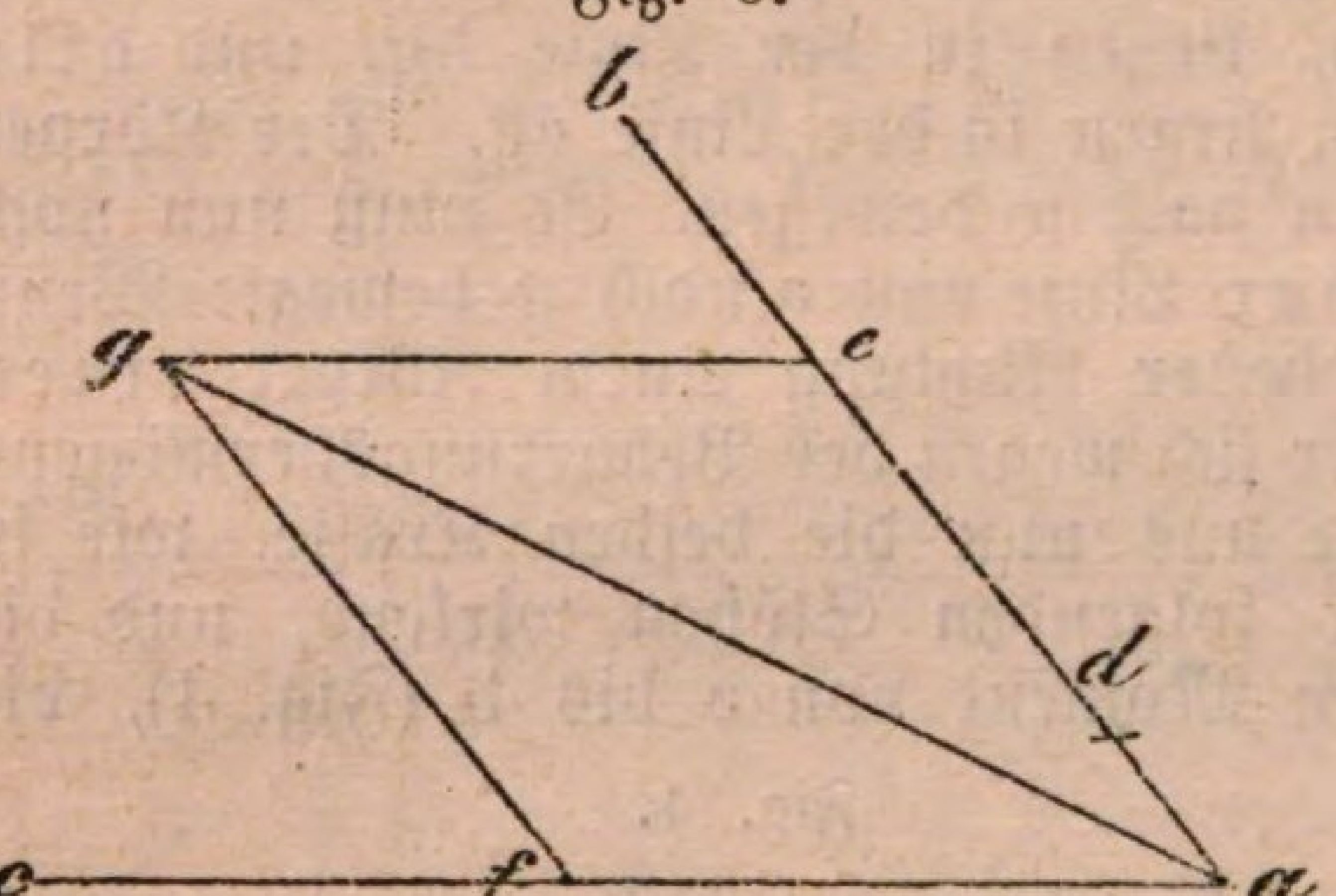
Auflösung. Man construirt zwei sich schneidende Linien, welche die Richtung und das Verhältniß der beiden gegebenen Kräfte k und v darstellen (ab und ac), Fig. 5, bildet daraus ein Parallelogramm (abcd) und zieht die Diagonale, so giebt diese die Richtung der Resultirenden und ihr Verhältniß zu den beiden gegebenen Kräften an, nämlich $\frac{ad}{ac} = \frac{R}{v}$ und hieraus läßt sich die Resultirende R finden; nämlich $R = \frac{ad \cdot v}{ac}$.

Fig. 5.



Beweis. (Fig. 6.) Gesetzt, die beiden gegebenen Kräfte seien gleich k und v Kilogr., wo unter einer Kraft von 1 Kilogr. diejenige Kraft zu verstehen ist, mit welcher ein Kilogramm-Gewicht an der Schnur zieht, an der es aufgehängt ist (d. i. nach § 14 eine Kraft, welche einer Masse von 1 Kilogr. in einer Secunde eine Geschwindigkeit von 9,809 Meter ertheilt); erstere wirke in der Richtung ab, letztere in der Richtung ac; eine Kraft von 1 Kilogramm treibe einen beliebigen Körper in einer beliebigen Zeit von a bis d, so wird eine Kraft von k Kilogr. in derselben Zeit ihn k solche Strecken treiben, etwa bis e, und eine Kraft von v Kilogr. v solche Strecken, etwa bis f. ae und af sind also die Wege, die der Körper in ein und derselben Zeit zurücklegen würde, wenn ihn die Kräfte einzeln trieben. Die Aufgabe ist jetzt auf die vorige zurückgeführt. Zieht man daher eg ‡ af, fg ‡ ae, so ist ag der Weg, welchen der Körper, von der Resultirenden getrieben, zurücklegt. So viel mal nun ad in ag enthalten ist, so viel Kilogramm beträgt die Resultirende.

Fig. 6.



Erklärung. Jenes Parallelogramm wird das **Parallelogramm der Kräfte** genannt; die beiden gegebenen Kräfte heißen die **Seitenkräfte**, die Resultirende heißt **Mittelkraft**.

c. Durch das Parallelogramm der Kräfte läßt sich ferner für mehr als zwei in verschiedener Richtung wirkende Kräfte die Resultirende finden.

Auflösung. Man sucht für die erste und zweite Kraft die Resultirende, dann für diese und die dritte Kraft die Resultirende, dann wieder für diese und die vierte Kraft u. s. w.

Erklärung. Für zwei oder mehr Kräfte die Resultirende finden, heißt **Kräfte zusammensetzen**.

Endlich läßt sich durch das Kräfte-Parallelogramm die Aufgabe lösen:

d. Eine Kraft in zwei oder mehrere andere zu zerlegen, d. h. für eine gegebene Kraft zwei oder mehrere andere zu finden, welche dieselbe Wirkung hervorbringen, als die gegebene. Zerlegung der Kräfte.

Auflösung. Construire eine Linie von beliebiger Länge, welche die Richtung der gegebenen Kraft angiebt, und dann ein Parallelogramm, von welchem die construirte Linie die Diagonale ist, so geben die Seiten die Richtung der beiden zu findenden Kräfte und ihr Verhältniß zur gegebenen Kraft an.

Die Auflösung besteht also in der Construction eines Parallelogramms, von dem die Diagonale gegeben ist, und diese reducirt sich auf die Construction eines Dreiecks, von welchem eine Seite gegeben ist. Ist aber blos eine Seite eines Dreiecks gegeben, so können noch zwei Stücke desselben willkürlich angenommen werden.

Daraus geht hervor: Soll eine Kraft in zwei andere zerlegt werden, so kann man entweder:

1) die Größe der beiden Seitenkräfte beliebig annehmen, und dann ihre Richtung finden;

(nur darf ihre Summe nicht kleiner sein, als die gegebene Kraft;)

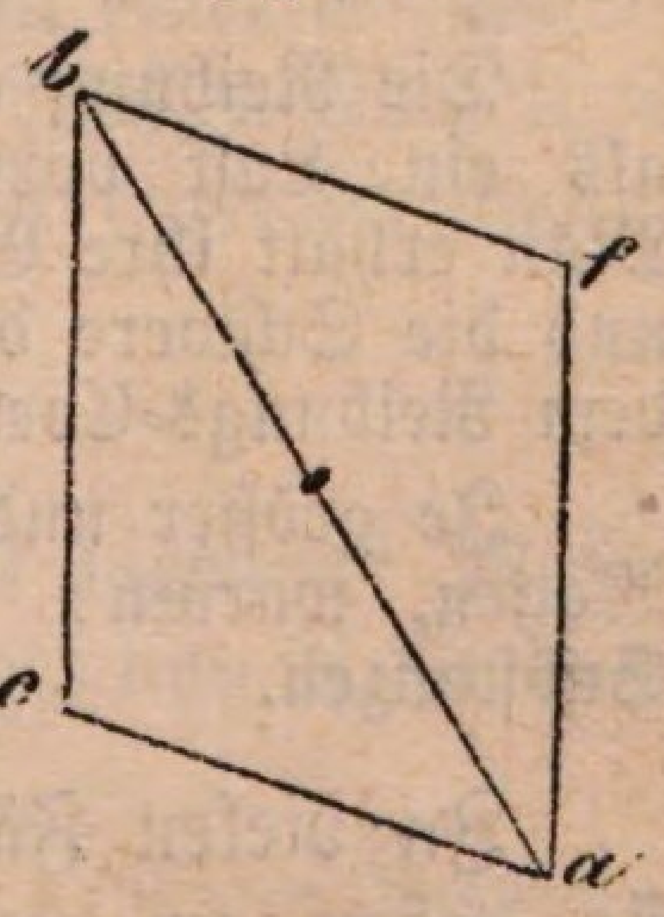
oder 2) die Richtung der Seitenkräfte beliebig annehmen und ihre Größe finden;

oder 3) die Richtung und Größe der einen Seitenkraft beliebig annehmen, und die Größe und Richtung der andern bestimmen;

oder 4) die Größe der einen und die Richtung der andern beliebig annehmen, und die Richtung der ersten und die Größe der andern bestimmen.

Beispiele für den ersten Fall: Auf einer Eisenbahn soll ein Wagenzug durch Pferde fortgeschafft werden. Dieselben sollen aber nicht auf der Bahn selbst, sondern zu beiden Seiten neben derselben gehen, und zwar soll ihre Wirkung so groß sein, als ob 4 Pferde in der Richtung der Bahn zögen. Die Menge der Pferde, welche man links und rechts gehen lassen will, ist willkürlich, aber es hängt von ihrer Zahl die Richtung ab, in der sie ziehen müssen. Gesetzt nun, man wolle links 2 und rechts 3 Pferde gehen lassen, in welcher Richtung müssen sie ziehen?

Fig. 7.



Auflösung. (Fig. 7.) Ziehe eine beliebig lange Linie ab, deren Richtung die Richtung der Bahn anandeutet, theile sie in 4 gleiche Theile, construire über ab das △ abf so, daß af = $\frac{3}{4}$ ab, fb = $\frac{1}{2}$ ab, ziehe ac ‡ fb, bc ‡ af, so ist ∠ fab derjenige, unter welchem die 3 Pferde, ∠ bac derjenige, unter welchem die 2 Pferde ziehen müssen.

Von der Größe der Reibung und des Widerstandes des Mittels.

§ 19. Aus § 10 ist bekannt, daß die Reibung entsteht, wenn ein in Bewegung befindlicher Körper mit einer Fläche in Berührung ist, die nicht an seiner Bewegung Theil nimmt, daß nämlich dann die § 19. Reibung.

Erhöhungen seiner Oberfläche in die Vertiefungen der andern Fläche und umgekehrt eingreifen, und daß, soll die Reibung überwunden werden, die Erhöhungen abgerissen werden müssen oder der Körper über sie hinweggehoben werden muß. Da in der Regel beides stattfindet, namentlich wenn die Flächen sehr rauh sind, so ist im Allgemeinen die Reibung desto größer:

1) je rauher die sich berührenden Flächen sind, d. h. je mehr und größere Erhabenheiten und Vertiefungen sie haben,

2) je größer die sich berührenden Flächen sind,

3) je fester die Substanz derselben,

4) je schwerer der zu bewegende Körper ist.

Sind die sich berührenden Flächen aber geglättet, so hängt die Reibung nur von dem Gewicht der zu bewegenden Last und der Substanz der sich berührenden Flächen, nicht von der Größe der letzteren ab.

Reibungs-Coefficient.

Drückt man in diesem Falle die Kraft, welche nöthig ist, um die Last auf der horizontalen Ebene in gleitende Bewegung zu setzen, als einen aliquoten Theil der Last aus, so nennt man die Zahl, welche angiebt, der wievielte Theil der Last diese Kraft ist, den Reibungscoefficienten.

Dieser Reibungscoefficient ist bei verschiedenen Materien verschieden, z. B.:

Eisen auf Eisen = 0,277,
Eisen auf Messing = 0,263,
Eisen auf Kupfer = 0,170,
Eichenholz auf Eichenholz längs der Fasern = 0,418,
desgl. die Fasern in entgegengesetzter Richtung = 0,273.

Bei der wälzenden Bewegung ist die Reibung geringer, als bei der gleitenden, und zwar desto geringer, je größer der Umfang des wälzenden Körpers ist.

Die Reibung an den Zapfenlagern von Maschinenrädern kann man sich als eine Last vorstellen, welche am Umfange des Zapfens angebracht ist. Man erhält ihre Größe, wenn man die am Rade angebrachte Last, die Kraft und die Schwere des Rades nebst seiner Welle addirt und diese Summe mit dem Reibungs-Coefficienten multiplicirt.

Je größer und breiter die Wagenräder sind, desto leichter fährt sich der Wagen, warum? Die Reibung vermindert man durch fettige oder ölige Substanzen.

In vielen Fällen ist uns die Reibung sehr erwünscht; man sucht sie daher zu vermehren, z. B. Keile, mit welchen man Holzklötze spalten will, werden mit Kreide bestrichen. Im Winter streut man Sand oder Asche auf den Weg. Gäbe es keine Reibung, so würden wir gar nicht im Stande sein, zu gehen, am wenigsten bergauf, wir würden keinen Gegenstand mit den Händen festhalten, keinen Knoten knüpfen können u. dgl. mehr.

§ 20. Jeder sich bewegende Körper ist genöthigt, den von ihm getroffenen Theilen des Mittels, in welchem er sich bewegt, Bewegung zu ertheilen, und verliert dadurch, wie wir später beim Stoße genauer erörtern werden, so viel Bewegungsquantität, als er ihnen mittheilt. § 20. Widerstand des Mittels.

Hieraus geht hervor, daß der Widerstand des Mittels desto größer ist, je größer die in Bewegung zu setzende Masse des Mittels ist und je größere Geschwindigkeit dieser ertheilt werden muß;

also:

1) je größer die Vorderfläche des sich bewegenden Körpers,

2) je dichter das Mittel ist,

3) je schneller sich der Körper bewegt.

Und zwar ist der Widerstand n^2mal so groß, wenn die Geschwindigkeit $n$mal so groß ist; denn bei $n$facher Geschwindigkeit ist erstens in derselben Zeit $n$mal so viel Masse des Mittels in Bewegung zu setzen und zweitens dieser Masse eine $n$mal so große Geschwindigkeit zu ertheilen.

Eine schief gegen eine Wasserfläche geschossene Kugel prallt von dieser ab, wie von einer festen Fläche.

B. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze fester Körper.

§ 21. **Vom Stoße.** Es sollen hier nur einige Fälle des Stoßes betrachtet werden, nämlich der centrale Stoß für vollkommen harte unelastische und für vollkommen elastische Kugeln. § 21. Stoß

Erklärung. Für Kugeln ist der Stoß central, wenn die Richtungen der Bewegung durch die Mittelpunkte der Kugeln gehen.

1) Stoß unelastischer Kugeln. unelastischer Kugeln.

a. Trifft eine Kugel von M Massen-Einheiten mit einer Geschwindigkeit von C Meter auf eine ruhende Kugel von m Massen-Einheiten, so bewegen sich beide in der Richtung der ersteren mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC}{M + m}$ Meter.

Bemerkung. Nehmen wir als Massen-Einheit diejenige Masse, welche ein Kilogrammgewicht enthält, so hat eine Kugel von M Massen-Einheiten ein Gewicht von M Kilogramm.

Beweis. Die Kugel, welche M Massen-Einheiten und C Meter Geschwindigkeit hat, besitzt eine Bewegungsquantität, durch welche eine Massen-Einheit eine Geschwindigkeit von MC Meter annehmen würde. Da sich diese Bewegungsmenge aber nach dem Zusammentreffen mit der zweiten Kugel auf M + m Massen-Einheiten vertheilt, so erhält diese Masse nur eine Geschwindigkeit von $\frac{MC}{M + m}$ Meter.

b. Bewegt sich auch die zweite Kugel, und zwar in derselben Richtung wie die erste, mit einer Geschwindigkeit von c Meter, so gehen beide in dieser Richtung mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC + mc}{M + m}$ Meter weiter.

Beweis. Die erste Kugel hat eine Bewegungsquantität, vermöge der sich eine Massen-Einheit mit einer Geschwindigkeit von MC Meter, die 2te eine solche, vermöge welcher sich eine Massen-Einheit mit mc Meter Geschwindigkeit bewegen würde. Beide zusammen haben also eine Bewegungsmenge, durch welche sich eine Massen-Einheit mit einer Geschwindigkeit von MC + mc Meter fortbewegen würde. Da sich aber diese Bewegung auf M + m Massen-Einheiten vertheilt, so geht diese nur mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC + mc}{M + m}$ Meter weiter.

c. Bewegt sich die zweite Kugel der ersten entgegen, so gehen sie in der Richtung der ersteren mit einer Geschwindigkeit von $\frac{MC - mc}{M + m}$ Meter.

Beweis, wie für Nr. a. und b. Für bestimmte Werthe von M, m, C und c kann dieser Ausdruck positiv, gleich Null oder auch negativ werden. Welche Bedeutung hat er in diesen drei Fällen? Auch sind in ihm die beiden ersten Formeln enthalten. Inwiefern?

elastischer Kugeln

2) Stoß elastischer Kugeln.

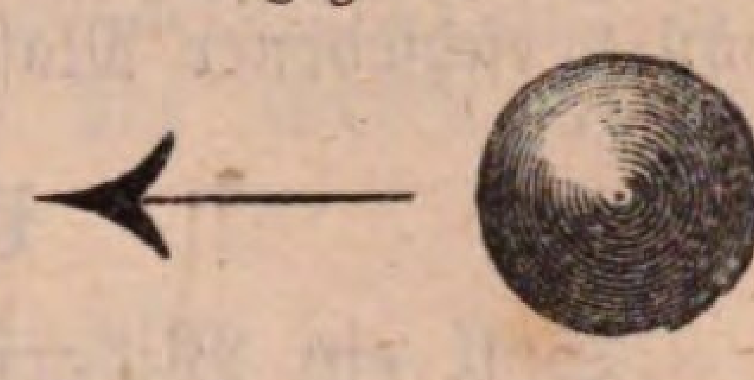
Ein Körper heißt vollkommen elastisch, wenn seine Theile, aus ihrer Lage gebracht, in jedem Falle mit derselben Kraft, mit welcher sie aus ihrer Lage gebracht wurden, genau wieder in dieselbe zurückkehren. Bei allen bekannten Körpern kehren aber die Theile nur dann wieder genau in ihre ursprüngliche Lage zurück, wenn die Verrückung derselben eine gewisse Grenze nicht überschreitet. Je weiter diese Grenze, desto elastischer nennen wir den Körper. Wird ein elastischer Körper gedrückt, so weichen die getroffenen Theile desselben so lange zurück, bis der Gegendruck gleich der drückenden Kraft ist; hört diese auf zu wirken, so kehren die Theile mit derselben Kraft in ihre Lage zurück, mit welcher sie gedrückt wurden.

Wird auf einen Gummiball ein schwerer Körper gelegt, so giebt er ein wenig nach, er wird abgeplattet; dann aber tritt Ruhe ein, ein Beweis, daß die Theile des Balles eben so stark nach oben drücken, als der schwere Körper nach unten. Wird das Gewicht des drückenden Körpers vergrößert, so weichen die Theile des Balles noch etwas zurück, kommen aber dann auch wieder zur Ruhe. Sie drücken also wieder eben so stark nach oben, wie jener Körper nach unten.

Hieraus geht hervor, daß eine ruhende elastische Kugel, wenn sie einen Stoß bekommt, doppelt so viel Geschwindigkeit erhält, als eine unelastische und eine in Bewegung befindliche elastische Kugel den doppelten Gewinn resp. Verlust an Geschwindigkeit erhält, als eine unelastische.

Beweis. (Fig. 8.) Gesetzt, die Kugel a erhält in der angedeuteten Richtung einen Stoß, der ihr, wenn sie unelastisch wäre, eine Geschwindigkeit von g Meter ertheilte. Da nun beim Stoße die getroffenen Theile der Kugel so weit nachgeben, bis die Rückwirkung der Elasticität gleich der stoßenden Kraft ist, so bekommt die Kugel durch das Zurückspringen der gewichenen Theile in ihre ursprüngliche Lage noch einmal denselben Stoß. Ganz in derselben Weise wird die durch den Stoß erhaltene Geschwindigkeits-Zu- oder Abnahme einer in Bewegung befindlichen Kugel durch die Elasticität verdoppelt. Ein Stein, mit einer Ballkeule geschlagen, fliegt nicht so weit, als ein Gummiball.

Fig. 8.



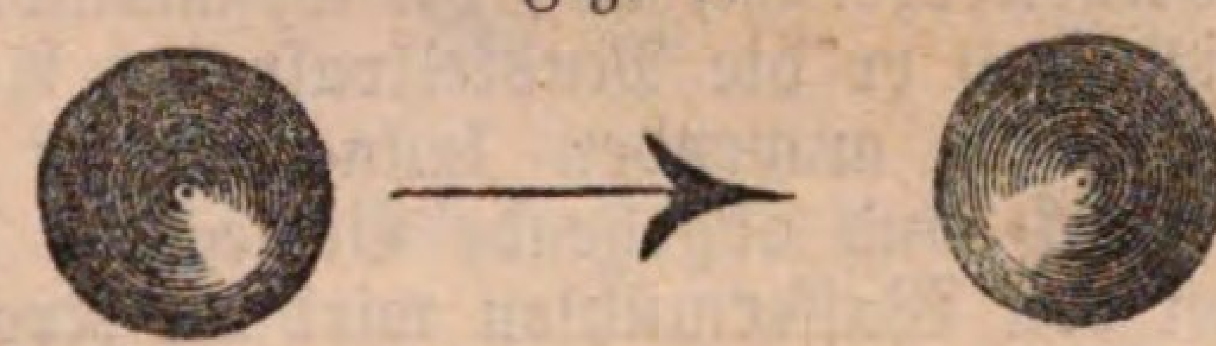
a

So oft zwei elastische Kugeln von gleicher Masse zusammentreffen, vertauschen sie ihre Geschwindigkeiten. Das Gesetz gilt: von gleicher Masse.

1) wenn eine Kugel ruht und die andere sie trifft,
2) wenn die Kugeln sich in entgegengesetzter,
3) in gleicher Richtung bewegen.

1) Die Kugel a (Fig. 9) ruhe, b treffe sie in der Richtung von b nach a mit einer Geschwindigkeit von c Meter, so würden beide Kugeln, wenn sie unelastisch wären, in der Richtung ba mit einer Geschwindigkeit von $\frac{c}{2}$ Meter weiter gehen. Es erhält also Kugel a durch den Stoß $\frac{c}{2}$ Meter Geschwindigkeit in der Richtung ba; nun erhält sie aber durch die Elasticität noch einmal $\frac{c}{2}$ Meter Geschwindigkeit, also geht sie mit c Meter Geschwindigkeit in der Richtung ba. Die Kugel b hat durch den Stoß $\frac{c}{2}$ Meter an Geschwindigkeit in der Richtung ba verloren, oder was dasselbe ist, $\frac{c}{2}$ Meter in der Richtung ab gewonnen, also gewinnt sie in derselben Richtung durch die Elasticität noch einmal $\frac{c}{2}$ Meter Geschwindigkeit, also kommt sie nach dem Stoße zur Ruhe.

Fig. 9.



b a

Für den zweiten und dritten Fall läßt sich das Gesetz auf dieselbe Art beweisen; man berechnet zuerst den Erfolg des Stoßes, wenn die Kugeln unelastisch wären, und rechnet dann noch die Wirkung der Elasticität hinzu, die, wie oben gezeigt ist, für jede Kugel gerade so groß ist, als die des Stoßes allein.

Ein Beispiel in bestimmten Zahlen: Die Kugel a bewege sich nach b mit einer Geschwindigkeit von 20 Meter, b nach a mit einer Geschwindigkeit von 10 M. Wären die Kugeln unelastisch, so würden sich beide nach dem Stoße mit einer Geschwindigkeit von 5 Meter in der Richtung ab bewegen. a verliert also durch den Stoß in der Richtung ab 15 M. Geschwindigkeit, oder was dasselbe ist, gewinnt in der Richtung ba 15 M. Geschwindigkeit. Dieselbe Geschwindigkeit gewinnt sie außerdem noch durch die Elasticität; also geht sie nach dem Stoße in der Richtung ba mit 10 M. Geschwindigkeit. Die Kugel b gewinnt durch den Stoß allein in der Richtung

Fig. 10.



a b

ab 15 Meter Geschwindigkeit; durch die Elasticität gewinnt sie eben so viel; also geht sie mit 20 Meter Geschwindigkeit in der Richtung ab.

In derselben Weise läßt sich der Erfolg berechnen, wenn elastische Kugeln von verschiedener Masse auf einander stoßen.

Von den einfachen Maschinen.

Soll ein Widerstand durch eine Kraft überwunden werden, so ist es oft nothwendig oder doch vortheilhaft, die Kraft nicht unmittelbar auf den Körper wirken zu lassen, der den Widerstand bietet, sondern zwischen Kraft und Widerstand eine Vorrichtung einzuschalten, welche die Kraft in zweckentsprechender Weise auf jenen Körper überträgt. Solche Vorrichtungen sind die Maschinen. Den zu überwindenden Widerstand nennt man die **Last**.

Um einen Körper zu theilen (die Cohäsion zu überwinden), lassen wir unsere Muskelkraft in der Regel nicht unmittelbar auf den zu theilenden Körper wirken (was beim Zerbrechen der Fall ist), sondern auf ein Messer, ein Beil oder sonst ein schneidendes Instrument. Zur Niederreißung von Mauern bedient man sich der Brechstange. Der Seiler dreht den Faden nicht unmittelbar mit der Hand, sondern mittelst eines Rades, wodurch er den Vortheil erreicht, daß die Geschwindigkeit der drehenden Bewegung vergrößert wird und er die Muskelkraft des Armes und nicht blos die der Finger oder der Hand anwenden kann. Beim gewöhnlichen Spinnrade wird außerdem die auf- und abgehende Bewegung des Fußes in eine drehende verwandelt. Bei den Wassermühlen wird die Kraft des fließenden Wassers durch Räder auf den Mühlstein und durch diesen auf das zu mahlende Getreide übertragen.

Einfache Maschinen sind: die schiefe Ebene (der Keil, die Schraube), der Hebel (die Rolle und das Wellrad).

§ 22. Die schiefe Ebene.

§ 22. Die schiefe Ebene. Erklärung. Jede Ebene, welche gegen die horizontale geneigt ist, heißt **schiefe Ebene**; ein Loth von irgend einem Punkte derselben auf die horizontale, ihre **Höhe**; die Senkrechte von dem Fußpunkte dieses Lothes auf die Durchschnittslinie der schiefen Ebene mit der horizontalen, **Basis**; die Senkrechte von dem andern Endpunkte jenes Lothes auf die genannte Durchschnittslinie **Länge** der schiefen Ebene.

Die schiefe Ebene wendet man meist an, um schwere Körper von ihrem Orte auf einen höher oder tiefer gelegenen Ort zu schaffen.

Gleichgewichtsgesetz für die schiefe Ebene.

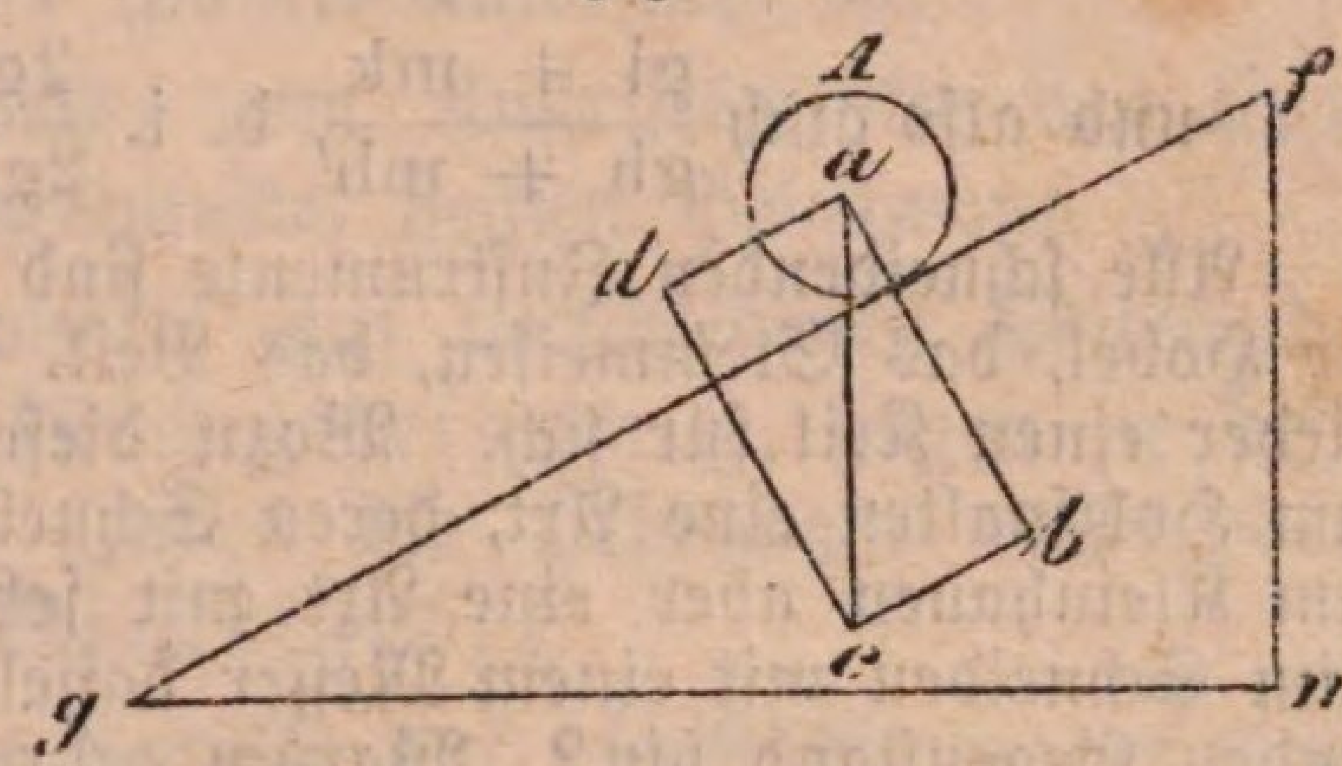
Soll ein Körper ohne Anwendung einer besonderen Vorrichtung, also blos durch Menschenhände gehoben werden, so muß die angewandte Kraft gleich dem Gewichte des Körpers sein; wird er aber auf der schiefen Ebene in die Höhe bewegt, so braucht die Kraft, wenn sie parallel der schiefen Ebene wirkt, nur den so vielten Theil seines Gewichts zu betragen, der wie vielte Theil die Höhe der schiefen Ebene von ihrer Länge ist; d. i.:

Wenn die Kraft parallel der schiefen Ebene wirkt.

a. Wenn die Kraft parallel der schiefen Ebene wirkt, so ist $K = \frac{H}{L} G$, wo K die Kraft, G die Last, H die Höhe der schiefen Ebene, L deren Länge bedeutet, oder $K = \sin g \,.\, G$.

Anmerkung. Es ist hier und auch in dem Folgenden bei den übrigen Maschinen immer nur von der Kraft die Rede, welche der Last das Gleichgewicht hält; jeder beliebige Ueberschuß an Kraft bringt die Last in Bewegung, deren Geschwindigkeit sich nach der Größe dieses Ueberschusses richtet.

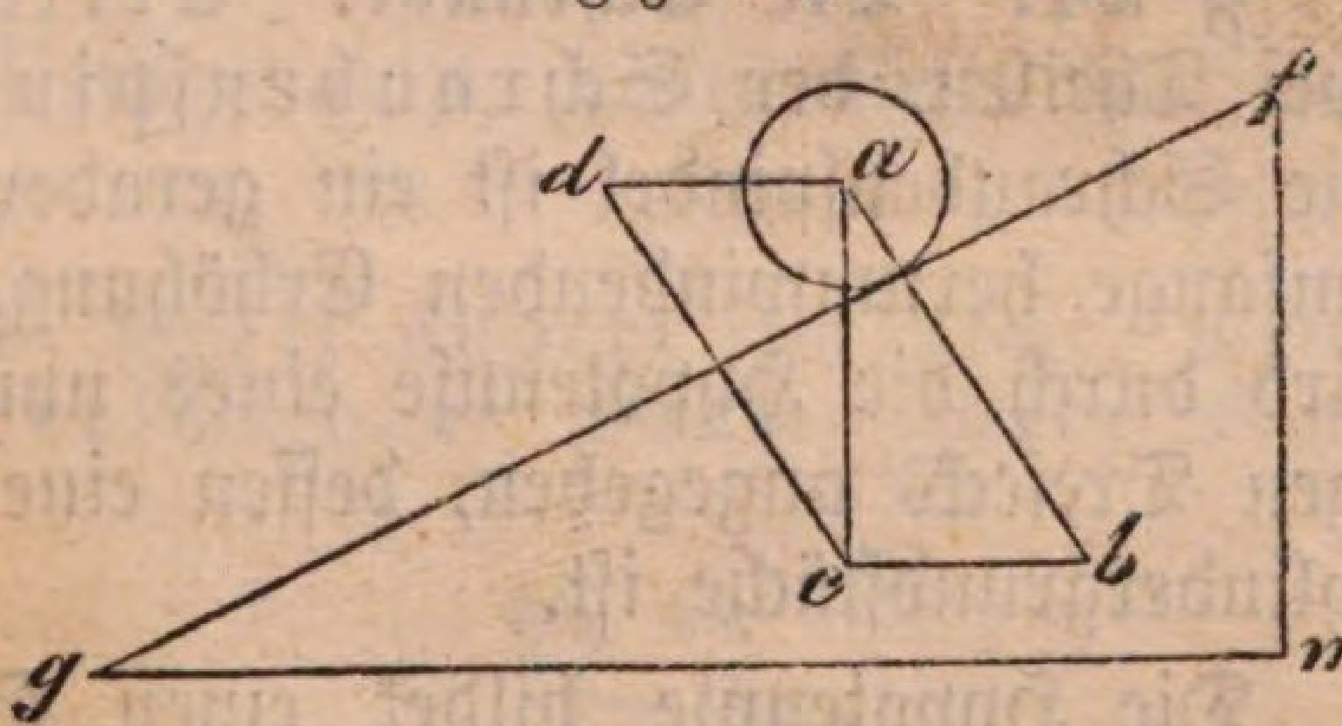
Fig. 11.



Beweis. (Fig. 11.) A bedeute den Körper, ac sein Gewicht. Zerlege ac in die Kräfte ab und ad, so braucht nur ad aufgehoben zu werden; denn ab wird durch die schiefe Ebene unwirksam gemacht. Es ist aber Δ adc $\sim$ Δ mfg, folglich $\frac{ad}{ac} = \frac{fm}{fg}$ d. i. ad $= \frac{fm}{fg} \cdot$ ac. D. i. K $=$ sin g . G.

b. Wenn aber die Kraft parallel der Basis wirkt, so ist K $= \frac{H}{B} \cdot$ G, wo B die Basis der schiefen Ebene bedeutet oder K $=$ tg g . G. Wenn die Kraft parallel der Basis wirkt.

Fig. 12.



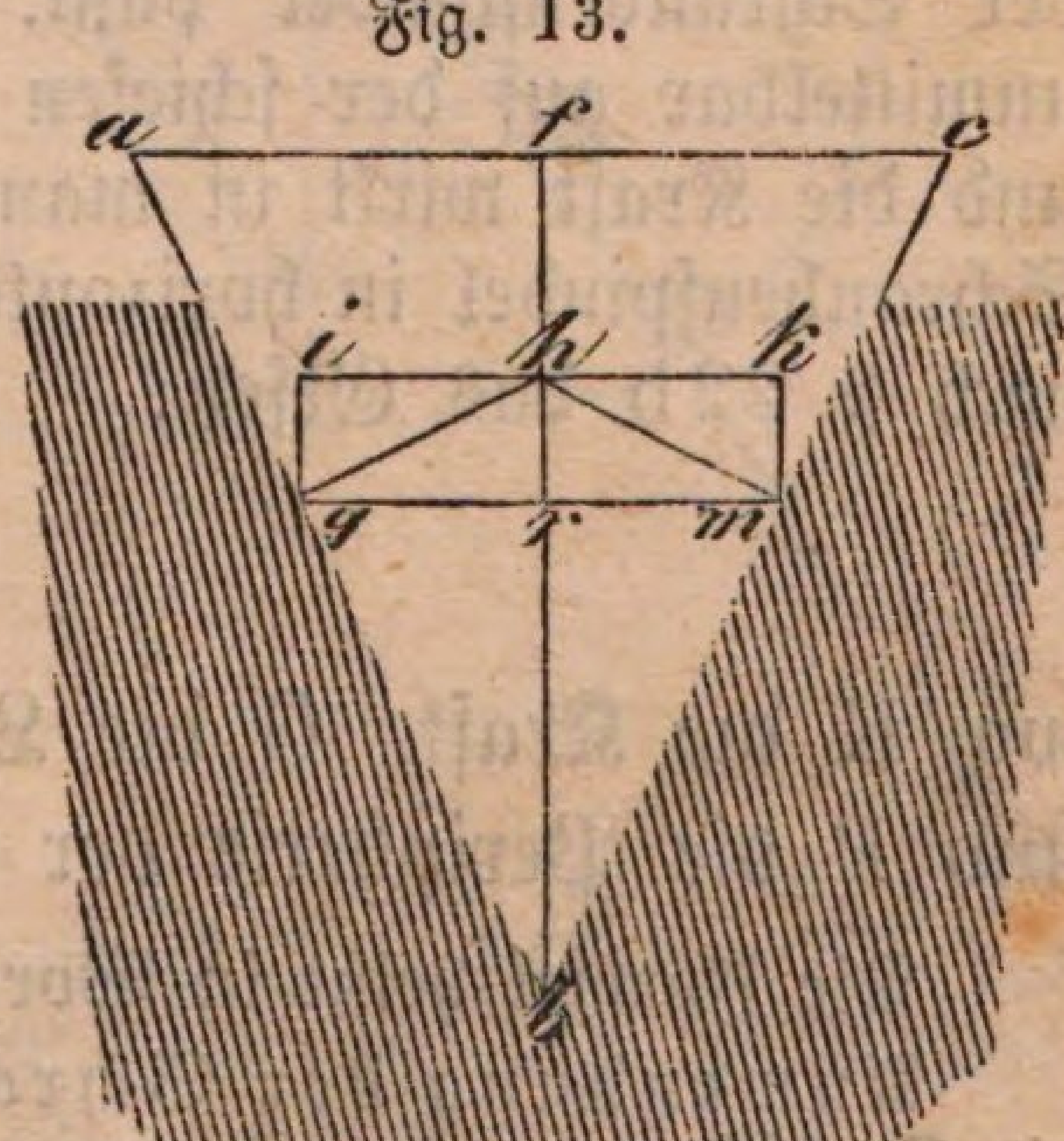
Beweis. Unterscheidet sich von dem vorigen nur dadurch, daß (Fig. 12) ad $\nparallel$ mg gemacht wird.

Die beiden Gesetze gelten auch dann, wenn fm $= 0$ oder mg $= 0$ ist. Auf horizontalen Strecken der Eisenbahn braucht die Locomotive nur die Reibung zu überwinden, bei Steigungen muß sie einen Theil der Last heben. Daher dürfen die Eisenbahnen nie zu steil sein.

§ 23. Der Keil. **Erklärung.** Der Keil ist ein gerades, dreiseitiges Prisma, dessen Grundflächen gleichschenkelige Dreiecke sind. § 23. Der Keil.

Der Schenkel eines solchen Dreiecks heißt **Seite**, seine Grundlinie **Rücken** des Keils.

Fig. 13.



Beim Keile ist, wenn die Widerstände senkrecht auf die Seiten des Keiles wirken, K $= \frac{\frac{1}{2}R}{S} \cdot$ G, wo K die Kraft, G die Last, R den Rücken und S die Seite des Keiles bedeutet. Die Formel heißt in Worten? Gleichgewichtsgesetz für den Keil.

Beweis. (Fig. 13.) acb sei der Durchschnitt eines in dem Spalte eines Holzklotzes steckenden Keiles. Ziehe die Linie bf, welche $\angle$ abc halbirt. Die Linien gh und mh, welche senkrecht auf ab und cb stehen, mögen die Kräfte darstellen, mit welchen das Holz auf den Keil drückt. Zerlege jede derselben in eine Kraft, deren Richtung parallel mit bf, und in eine, welche

senkrecht auf bf wirkt, also gh in gi und gr; die Kraft mh in mk und mr. Die Kräfte gr und mr heben einander auf, die beiden Kräfte gi und mk treiben den Keil aus dem Spalte heraus und müssen durch eine entgegenwirkende Kraft aufgehoben werden.

Nun ist Δ ghr $\backsim$ Δ abf und daraus folgt

$$\frac{rh}{gh} = \frac{af}{ab} \text{ d. i. } \frac{gi}{gh} = \frac{af}{ab}$$

und also auch $\frac{gi + mk}{gh + mh}$, d. i. $\frac{2gi}{2gh} = \frac{af}{ab}$, d. i. $2gi = \frac{af}{ab} \cdot 2gh$.

Alle schneidenden Instrumente sind Keile, z. B. das Messer, die Scheere, der Hobel, das Stemmeisen, das Beil. Bei den meisten bildet die Schneide wieder einen Keil für sich. Wozu dieser zweite Keil? Warum nimmt man zum Holzspalten eine Axt, deren Schneide einen ziemlich stumpfen Keil bildet, zum Kleinhauen aber eine Axt mit sehr spitzem Keile? Warum zieht man beim Schneiden mit einem Messer dasselbe wie eine Säge über den zu schneidenden Gegenstand hin? Warum gebraucht man zum Schleifen eines Tischmessers, eines Federmessers und eines Barbiermessers verschiedene Arten von Schleifsteinen? Wie unterscheiden sich gröbere Schleifsteine von feineren? Warum macht man die Schleifsteine gewöhnlich naß? Auch der Nagel, der Pfriemen, die Nadel sind Keile.

§ 24. Die Schraube.

§ 24. Die Schraube. Erklärung. Die Schraube besteht aus zwei Theilen, der Schraubenspindel und der Schraubenmutter. Die Schraubenspindel ist ein gerader Cylinder mit einer sich an seinem Umfange herumwindenden Erhöhung. Die Richtung dieser Erhöhung wird durch die Hypotenuse eines um den Cylinder gelegten rechtwinkeligen Dreiecks angegeben, dessen eine Kathete gleich der Peripherie der Cylindergrundfläche ist.

Die Hypotenuse bildet einen Schraubengang; durch mehrere Schraubengänge entsteht die Schraubenlinie. Die der Spindelachse parallele Kathete ist die Höhe des Schraubenganges. Die Schraubenmutter ist ein Körper mit einer cylindrischen Oeffnung, in deren Wänden eine spiralförmige Vertiefung angebracht ist, in welche die Erhöhung der Schraubenspindel paßt. Bei der Schraube ruht die Last nicht unmittelbar auf der schiefen Ebene, sondern auf der Schraubenmutter, und die Kraft wirkt in manchen Fällen auf diese, in andern auf die Schraubenspindel in horizontaler Richtung. Daher gilt für die Schraube nach § 22b das Gesetz:

Gleichgewichtsgesetz für die Schraube.

$$K = \frac{H}{P} \cdot G.$$

wo K die Kraft, G die Last, H die Höhe des Schraubenganges und P die Peripherie der Spindel bezeichnet.

Die Formel heißt in Worten?

Anwendung der Schraube: Die Buchbinderpresse, die Pflanzenpresse, die Dachschraube des Zimmermanns, deren Einrichtung sich von der Buchbinderpresse im Wesentlichen nicht unterscheidet, nur daß die Schraubenmuttern sich nicht über, sondern unter dem beweglichen Brette befinden. Dieselbe wird benutzt, um das Dach von niedrigen Gebäuden zu stützen, wenn die

Umfassungsmauern ausgebessert werden sollen. Die Schraube wird auch gebraucht, wenn man einen Körper an einen andern befestigen will, z. B. die Thürschlösser und dergl. werden angeschraubt, wobei weniger die Kraft-Ersparniß, als vielmehr die Reibung benutzt wird.

§ 25. **Der Hebel.** Erklärungen. 1) Der Hebel ist ein unbiegsamer Stab, der in einem seiner Punkte unterstützt ist. § 25. Der Hebel.

2) Die beiden Theile des Hebels, vom Angriffspunkte der Kraft und der Last bis zum Unterstützungspunkte, heißen Hebelarme.

3) Liegen die beiden Angriffspunkte auf verschiedenen Seiten des Unterstützungspunktes, so heißt der Hebel zweiarmig, liegen sie beide auf derselben Seite, einarmig. Haben die Hebelarme verschiedene Richtung, so heißt der Hebel ein Winkelhebel.

4) Das Loth vom Unterstützungspunkte auf die Richtung der Kraft heißt Entfernung der Kraft vom Unterstützungspunkte.

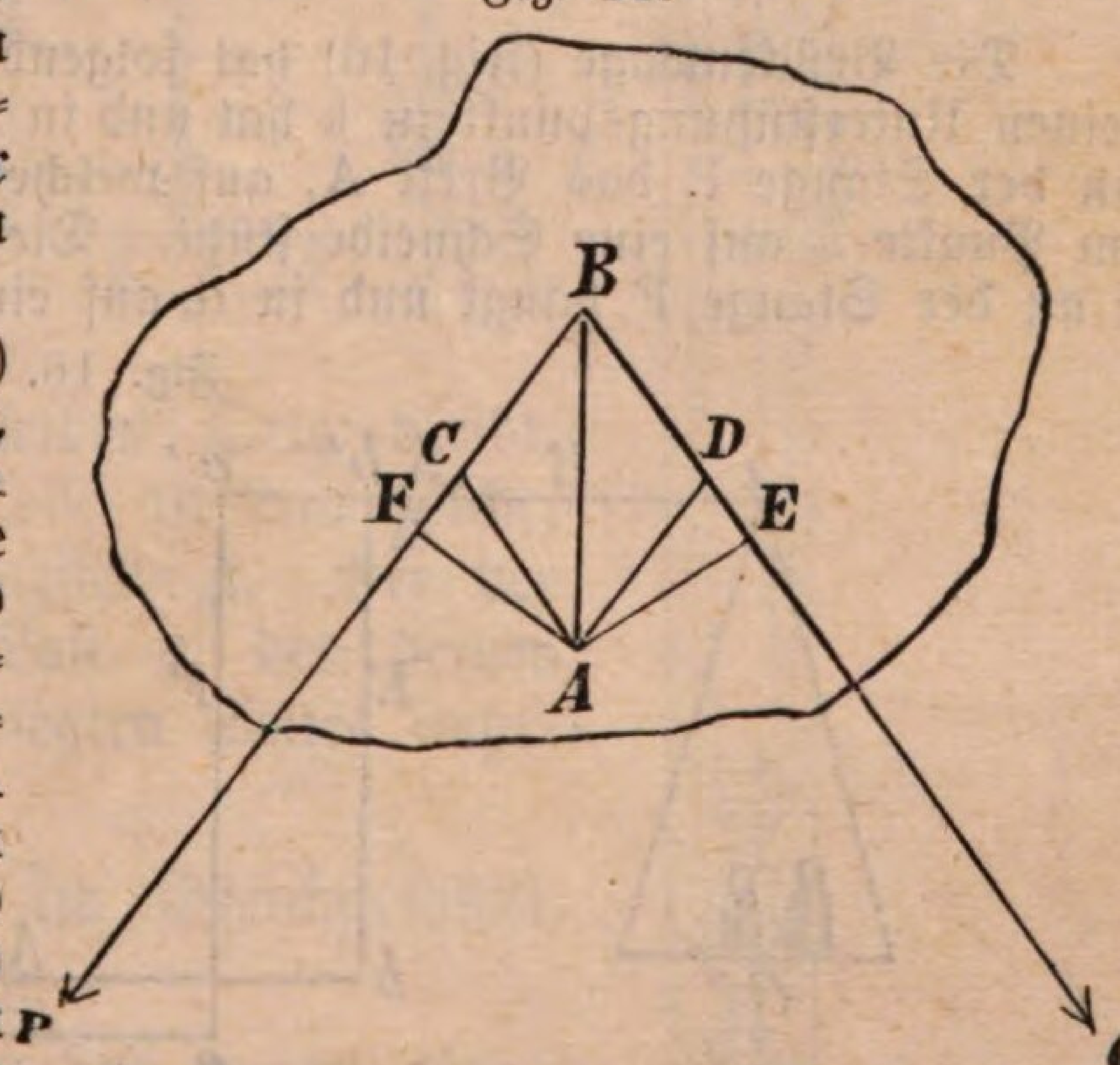
5) Das Product aus der Kraft und ihrer Entfernung vom Unterstützungspunkte heißt das statische Moment der Kraft.

Für alle drei Hebelarten gilt dasselbe Gleichgewichtsgesetz: Gleichgewichtsgesetz für den Hebel.

Kraft und Last stehen im Gleichgewicht, wenn ihre statischen Momente gleich sind.

Beweis. Die Wirkung einer Kraft ändert sich nicht, wenn man ihren Angriffspunkt in verschiedene Punkte ihrer Richtung versetzt.

Fig. 14.



Denn wenn man einen Wagen an der Deichsel oder an einem Seile fortzieht, so ist es gleichgültig, in welchem Punkte der Deichsel oder des Seiles man anfaßt.

Wenn nun die Figur (Fig. 14) einen beliebigen Körper darstellt, welcher sich um den festen Punkt A drehen läßt, und auf welchen die beiden Kräfte P und Q wirken, so werden diese einander das Gleichgewicht halten, wenn ihre Resultirende durch den festen Punkt A geht. Versetzen wir nun ihren Angriffspunkt in den Punkt B und stellen wir, da man jede Kraft durch eine beliebig lange Linie ausdrücken kann, ihre Resultirende durch die Linie BA dar, so drücken in dem Parallelogramm ACBD BC und BD die Größe der beiden Kräfte P und Q aus. Zieht man nun $AE \perp BE$ und $AF \perp BF$, so ist, weil $\Delta\ ABC = \Delta\ ABD$ ist,

$$BC \cdot AF = BD \cdot AE$$

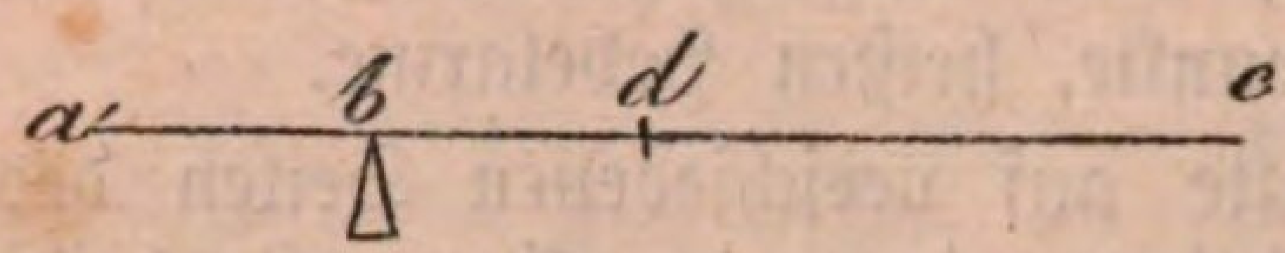
d. i. $$P \cdot AF = Q \cdot AE$$

d. h. die statischen Momente von P und Q in Beziehung auf den Unterstützungspunkt A sind einander gleich.

Da bei dieser Entwickelung die Größe des Winkels B, den die Richtungen der Kräfte bilden, unberücksichtigt hat bleiben können, so gilt das Gesetz auch dann, wenn $\angle$ B unendlich klein ist, d. h. die Kräfte parallele Richtung haben.

Beweis für den einarmigen Hebel (d. h. für den Fall, daß der Unterstützungspunkt nicht zwischen den Richtungen der Kräfte, sondern außerhalb derselben liegt). Wirken (Fig. 15) auf den Hebel ac auf verschiedenen Seiten des Unterstützungspunktes b, etwa in a und d zwei Kräfte, deren statische Momente einander gleich sind, so stehen diese nach dem vorigen Beweise im Gleichgewicht, bringen also auf den Hebel gleiche Wirkung hervor. Will man daher in c eine Kraft anbringen, welche der in d das Gleichgewicht hält, so muß sie so groß sein, als wenn sie der Kraft in a das Gleichgewicht halten sollte, d. h. sie muß mit dieser gleiches statisches Moment haben.

Fig. 15.

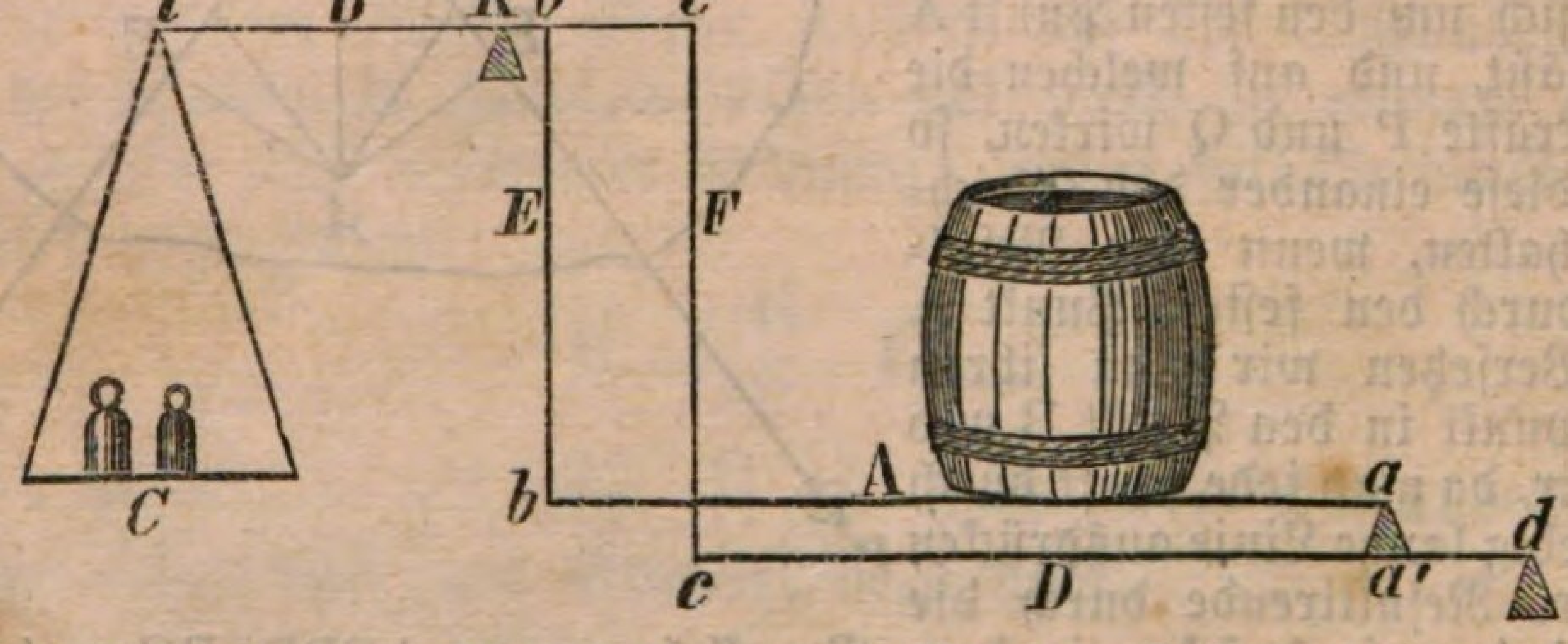


Hebel sind: Der Hebebaum, die Brechstange, die Karre, der Pumpenschwengel, die Scheere, die Zange, die Thürklinke, die Häckselschneide, die gemeine Wage, die Schnellwage. Zur Hebung großer Lasten bedient man sich sehr langer Hebebäume. Je näher auf der Karre die Last an das Rad gelegt wird, desto leichter ist sie zu fahren. Die Blech- und die Zaunscheere haben sehr lange Griffe, die Papierscheere ganz kurze. Je fester der zu zerschneidende Gegenstand ist, desto näher hält man ihn an den Drehpunkt der Scheere. Die Richtigkeit der gemeinen Wage ergiebt sich nicht schon daraus, daß die leeren Wagschalen im Gleichgewicht stehen, sondern die beiden Arme müssen auch gleich lang sein. Wie kann man die Richtigkeit einer Wage prüfen und wie kann man selbst mit einer falschen Wage richtig wiegen? Die Knochen der Arme, der Finger bilden einarmige Hebel, an welchen der Hebelarm der Kraft kürzer als der der Last ist.

Die Brückenwage.

Die Brückenwage (Fig. 16) hat folgende Einrichtung: B ist ein Hebel, der seinen Unterstützungspunkt in k hat und in i die Gewichte trägt. In b′ hängt an der Stange E das Brett A, auf welchem die Last ruht, und welches sich im Punkte a auf eine Schneide stützt. Diese ruht auf dem Hebel D, der in c an der Stange F hängt und in d auf einer Schneide liegt.

Fig. 16.



Die Aufhänge- und Unterstützungspunkte der Hebel haben eine solche Lage, daß $\frac{kb'}{kc'} = \frac{a'd}{cd}$ ist, und außerdem sind die Theile der Wage so eingerichtet, daß der Hebel B, wenn die Wage unbelastet ist, horizontal steht.

Wegen der Einrichtung der beiden Hebel A und D wirkt die Last so auf den Hebel B, als ob sie unmittelbar im Punkte b′ hinge, auf welcher Stelle

des Brettes A die Last auch liegen mag. Denn: Ein Theil der Last zieht an der Stange E und ein Theil drückt auf a; ersterer sei = m Kilogramm, letzterer = r Kilogramm, so daß (m + r) Kilogramm gleich der Last sei. Ist nun cd = n . a'd, so drücken die r Kilogr. so stark nach unten, als ob in c eine Last von $\frac{1}{n}$ r Kilogr. hinge. Der Hebel B wird dadurch in c' mit $\frac{1}{n}$ r Kilogr. nach unten gezogen. Das bringt aber dieselbe Wirkung hervor, als ob in b' eine Last von n $\frac{1}{n}$ r, d. i. r Kilogr. hinge. Also auch der Theil der Last, welcher auf a ruht, wirkt so auf den Hebel B, als ob er in b' angriffe. Ist nun iK = 10 . Kb', so ist die Last 10mal so groß als die Gewichte auf C.

Historisches. Archimedes, 250 v. Chr., fand die Gesetze des Hebels, der schiefen Ebene, der Schraube.

Fig. 17.

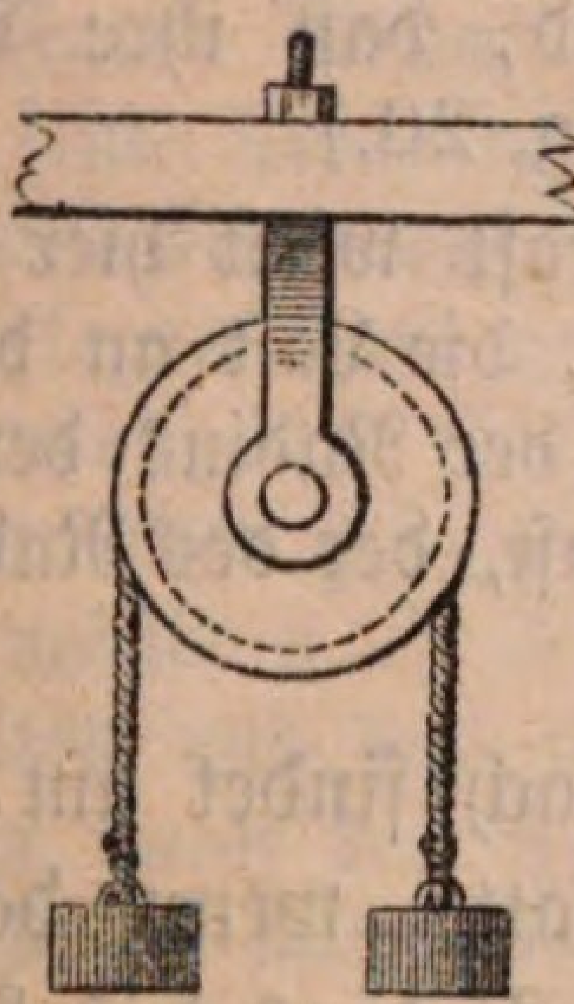


Fig. 18.

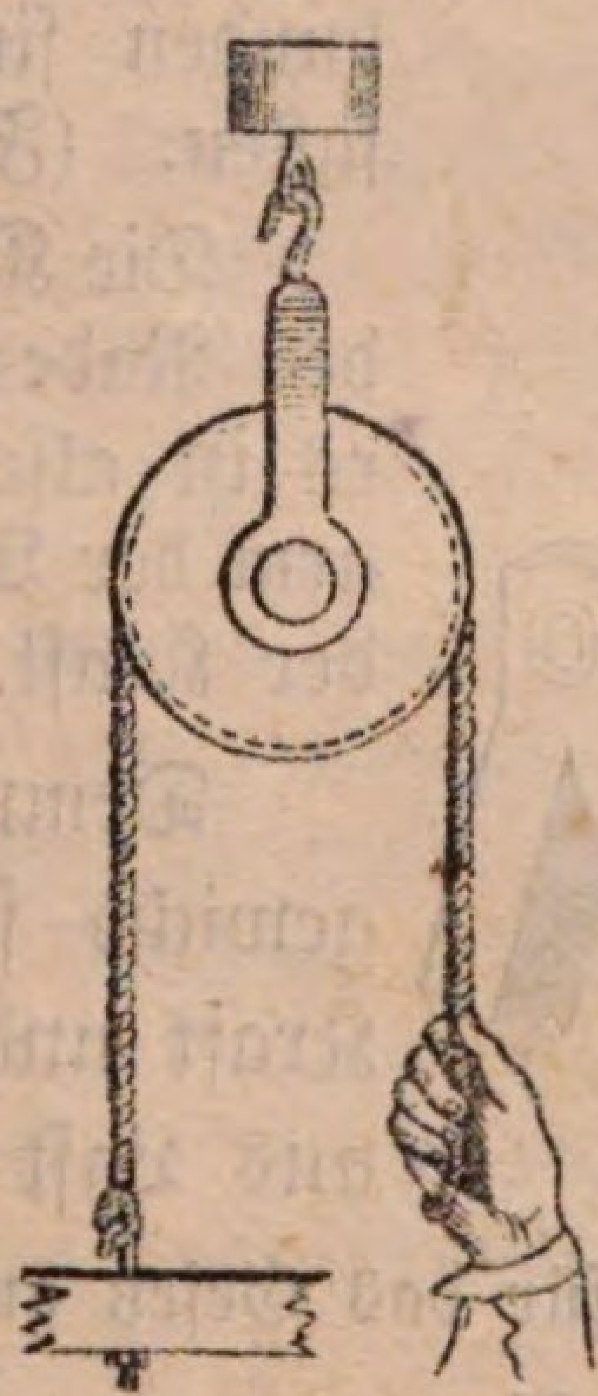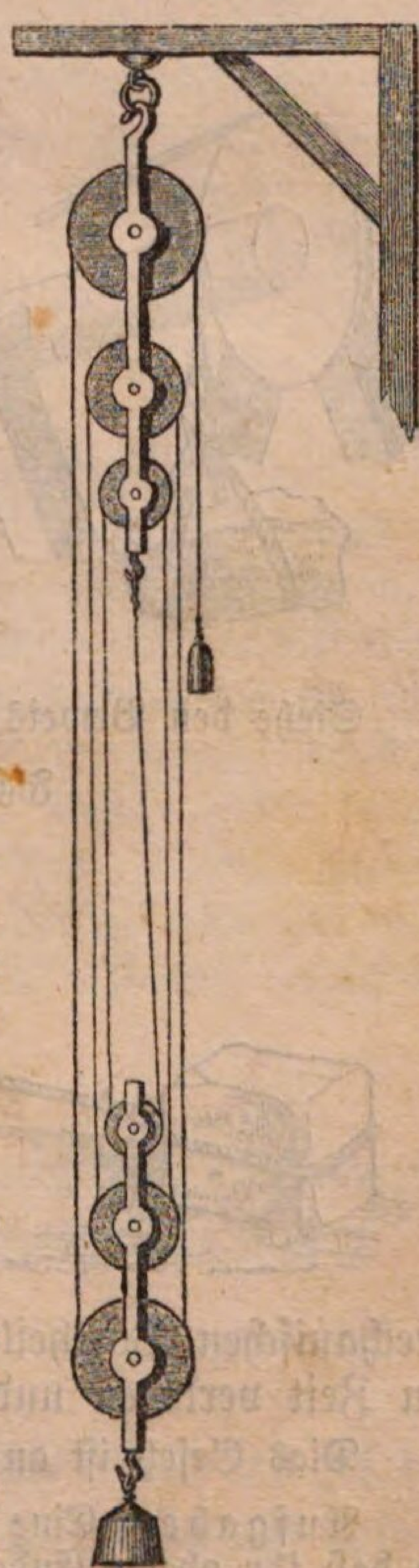


Fig. 19.



§ 26. Die Rolle.

§ 26. Die Rolle. Erklärung. Die Rolle ist eine kreisförmige Scheibe, die sich um ihre Achse drehen läßt und deren Peripherie zur Aufnahme eines Seiles mit einer Rinne versehen ist. Man unterscheidet zweierlei Rollen, die feste und die bewegliche Rolle.

Die feste Rolle ist eine solche, deren Achse an demselben Orte bleibt. (Fig. 17.) Die bewegliche Rolle ist eine solche, welche sich mit ihrer Achse fortbewegt. Bei der festen Rolle sind Kraft und Last an den beiden Enden des über die Rolle gelegten Seiles angebracht und

Gleichgewichtsgesetz für die feste Rolle.

Kraft und Last stehen im Gleichgewicht, wenn sie einander gleich sind.

Der Beweis ergiebt sich aus dem vorigen Paragraphen. Die Angriffspunkte von Kraft und Last liegen in der Peripherie.

Die feste Rolle benutzt man, um einer Kraft eine andere Richtung zu geben, z. B. um Thüren vermittelst eines Gewichtes geschlossen zu halten, Fässer, Waarenballen u. dergl. auf den Lagerboden zu ziehen.

Die bewegliche Rolle hängt an einem Seile, von welchem das eine Ende irgendwo befestigt ist, während an dem andern die Kraft wirkt. Die Last hängt an der Achse der Rolle. (Fig. 18, S. 31.)

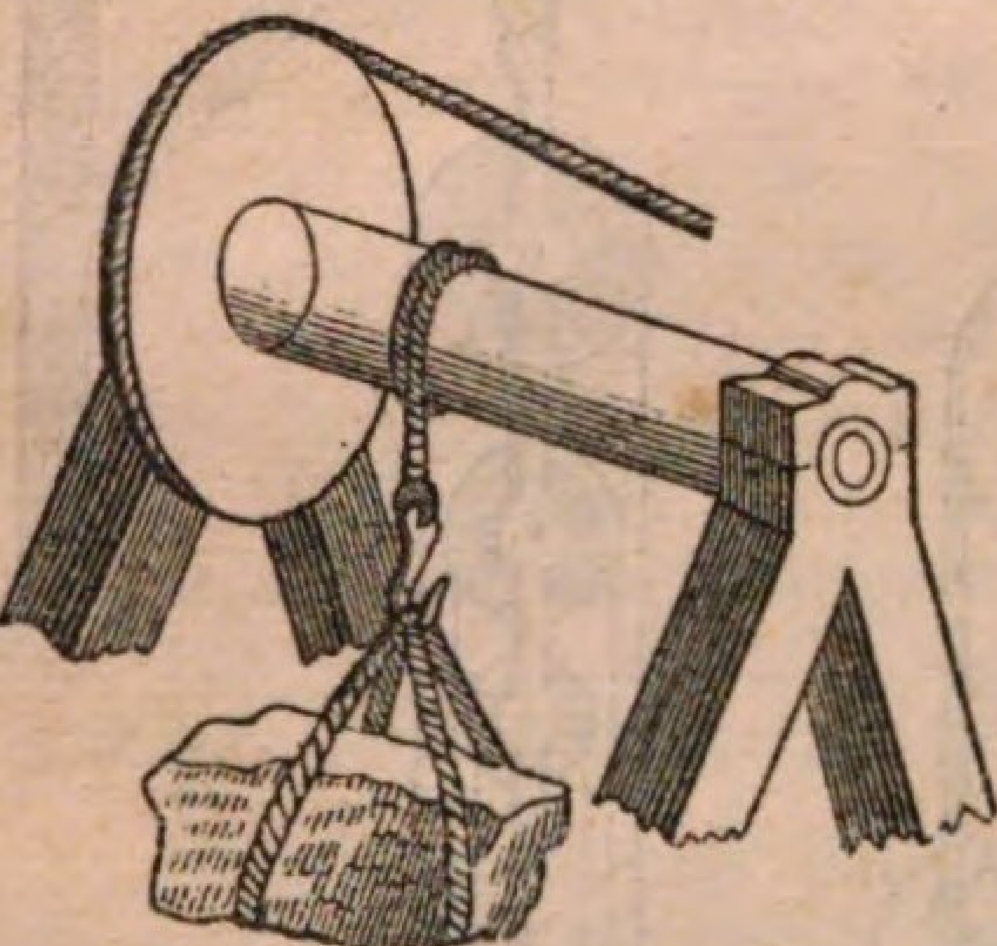
Die bewegliche Rolle kann als ein Hebel betrachtet werden, dessen Unterstützungspunkt derjenige Punkt der Peripherie ist, in welchem sich das befestigte Seilende von der Rolle entfernt. Es stehen also Kraft und Last im Gleichgewicht, wenn ihre statischen Momente gleich sind. Wirken sie also parallel, so muß die Kraft halb so groß als die Last sein.

Der Flaschenzug (Fig. 19, S. 31) ist eine Verbindung mehrerer fester und eben so vieler beweglicher Rollen. Die doppelte Anzahl der beweglichen Rollen giebt an, wie viel mal kleiner die Kraft ist, als die Last.

§ 27. Das Wellrad.

§ 27. Das Wellrad. Das Wellrad besteht aus einer kreisförmigen Scheibe und einem Cylinder (Welle), welche so mit einander verbunden sind, daß ihre Achsen zusammenfallen. (Fig. 20.)

Fig. 20.



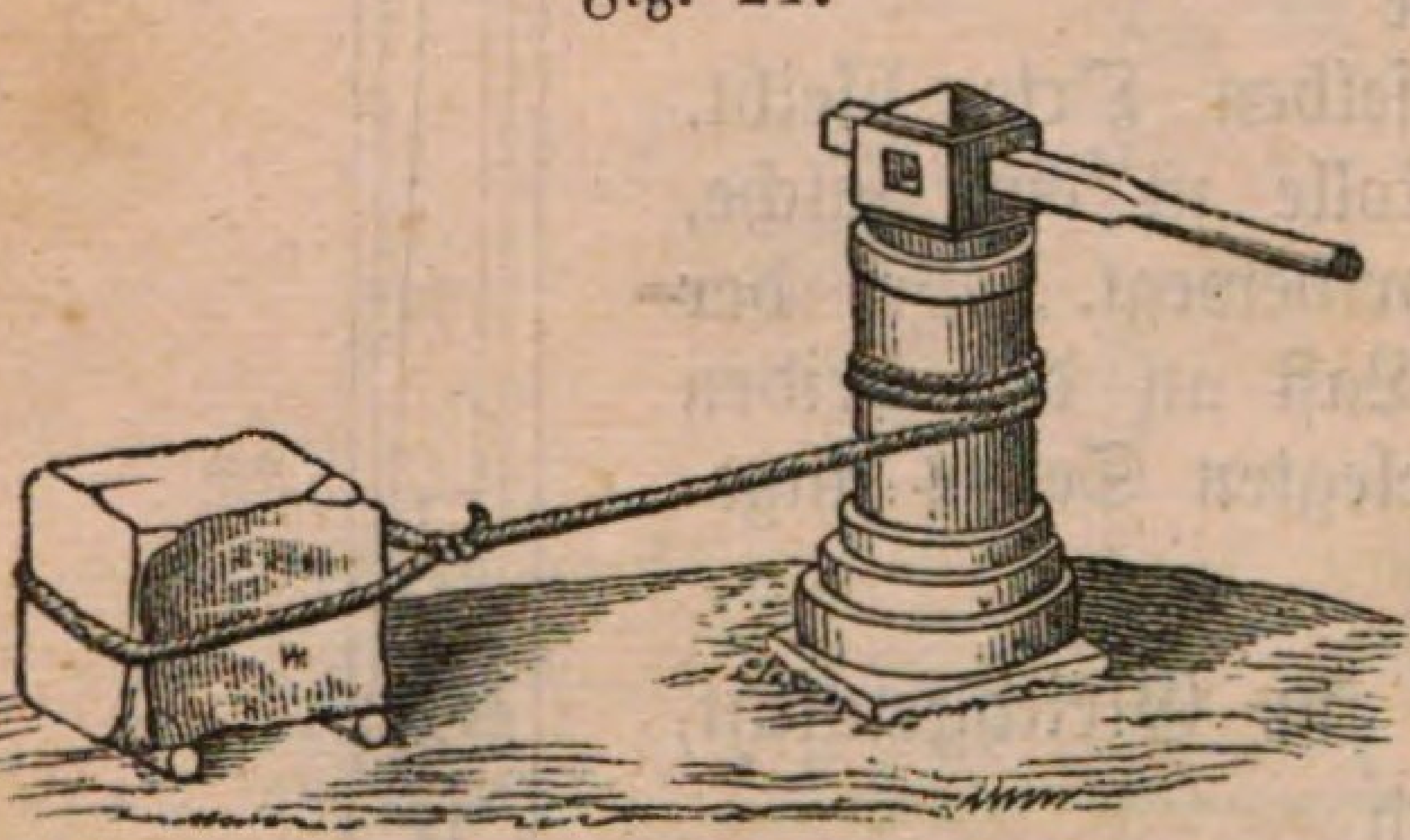
Die Kraft wirkt hier an der Peripherie des Rades, die Last an der des Cylinders; es ist also der Radius der Welle der Hebelarm der Last, der des Radius der Hebelarm der Kraft.

Gleichgewichtsgesetz am Wellrade.

Demnach findet am Wellrade Gleichgewicht statt, wenn das Product aus Kraft und Radius des Rades gleich dem aus Last und Radius der Welle ist.

Siehe den Beweis für das Gesetz am Hebel.

Fig. 21.



An der Stelle des Rades sind oft nur einzelne Speichen angebracht, wie z. B. bei der Erdwinde (Fig. 21), der Haspel. Die gezähnten Räder sind Wellräder. Auch gehören hierher der Schlüssel und der Bohrer.

Wird ein Körper durch eine Maschine in Bewegung gesetzt, so ist stets der mechanische Nachtheil gleich dem mechanischen Vortheile. Was nämlich an Kraft gewonnen wird, geht an Zeit verloren und umgekehrt.

Dies Gesetz ist an jeder Maschine nachzuweisen.

Aufgabe: Eine Leiter von a Meter Länge ist an eine Mauer gelehnt, so daß ihr oberes Ende dieselbe in b Meter Höhe berührt; in der Entfernung von c Meter vom untern Ende steht ein Mann darauf, dessen Gewicht = d Kilogr. Wie groß ist der senkrechte Druck erstens auf die Mauer? zweitens

auf die Leiter? drittens welcher horizontale Druck müßte auf den Fuß der Leiter, wenn diese auf einer glatten Fläche stände und die Mauer ganz glatt wäre, ausgeübt werden, um sie am Abgleiten zu hindern? Bilde Beispiele in bestimmten Zahlen.

Vom Schwerpunkte.

§ 28. Da jedes Massentheilchen von der Erde angezogen wird, so wirkt dieselbe eigentlich mit unendlich vielen Kräften auf jeden Körper. Alle diese Kräfte haben eine Resultirende; denn man kann sie durch eine einzige Kraft aufheben, indem man den Körper an einem Faden aufhängt, den man in einem Punkte seiner Oberfläche befestigt*). Aus der Richtung des Fadens wird auch die Richtung dieser Resultirenden erkannt, die wir kurzweg Schwerkraft nennen wollen. Da der Körper, am Faden hängend, in Ruhe steht, so erhält man, wenn man ihn irgendwie in der Richtung des Fadens durchschneidet, jedesmal zwei Theile, die einander, als Hebelarme betrachtet, das Gleichgewicht halten. Befestigt man den Faden darauf in einem beliebigen anderen Punkte des Körpers, so muß seine Richtung die Richtung des ersten Fadens schneiden. Denn schnitten diese Richtungen sich nicht, so könnte man durch sie zwei parallele Ebenen legen, und jede derselben theilte den Körper in zwei Theile, die einander das Gleichgewicht hielten. Die beiden Ebenen hätten den Körper aber zusammen in drei Theile getheilt: a, b und c; und von diesen müßte a + b dem c, und auch a dem b + c das Gleichgewicht halten und das ist nicht möglich.

§ 28. Jeder Körper hat einen Schwerpunkt.

Befestigt man dann den Faden in einem dritten Punkte der Oberfläche des Körpers, so muß seine Richtung sowohl die erste als auch die zweite Richtung schneiden, und da die drei Richtungen nicht in einer Ebene zu liegen brauchen, so muß die dritte Richtung die beiden ersten in ihrem Durchschnittspunkte treffen. Ebenso läßt sich nun folgern, daß, wenn man den Faden in einem 4., 5., 6. u. s. w. Punkte befestigt, alle Richtungen durch den Durchschnittspunkt der beiden ersten gehen müssen. Denkt man sich also den Faden nach und nach in allen Punkten der Oberfläche des Körpers befestigt, so daß der Körper alle nur möglichen Stellungen erhält, so gehen alle Richtungen desselben durch ein und denselben Punkt.

Hieraus folgt:

Es giebt in jedem Körper einen Punkt, durch den in jeder beliebigen Lage des Körpers die Richtung der Schwerkraft geht.

Dieser Punkt heißt Schwerpunkt.

§ 29. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich:

1) Jede durch den Schwerpunkt gelegte Ebene theilt den Körper in zwei Theile, die als Hebelarme einander das Gleichgewicht halten.

§ 29. Schwerpunktsgesetze.

*) Am Besten läßt sich diese Betrachtung an einer Kartoffel anschaulich machen, an deren Oberfläche man mittelst einer Stecknadel einen Zwirnfaden befestigt.

2) Wird ein Körper im Schwerpunkte, oder vertical über oder unter demselben unterstützt, so steht er in Ruhe.

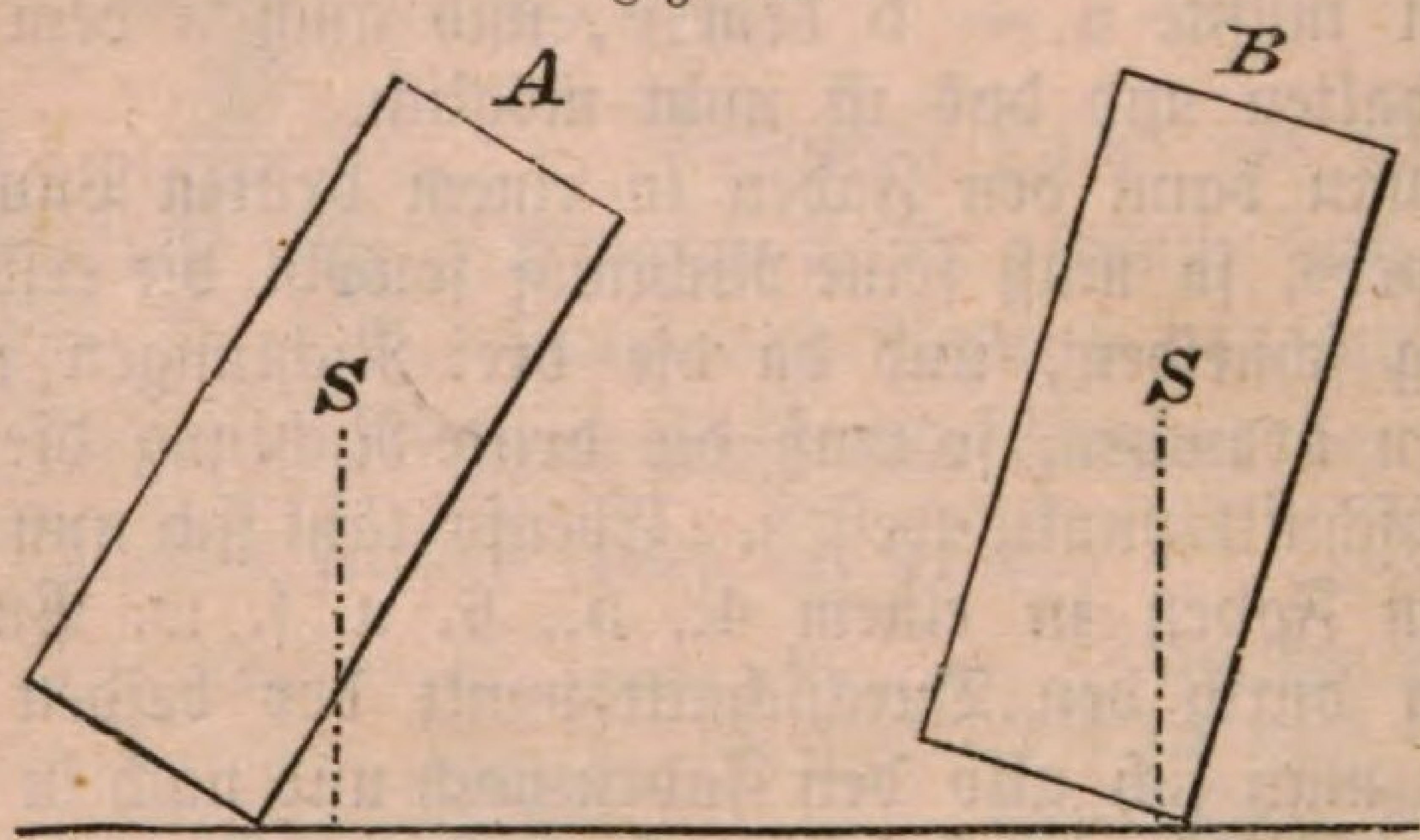
a. Wird er im Schwerpunkte selbst unterstützt, etwa durch eine Achse, so kann man ihm jede beliebige Lage geben, und er bleibt in Ruhe. Die Erscheinung ist demnach so, als ob im Schwerpunkte das ganze Gewicht des Körpers vereinigt wäre (daher der Name Schwerpunkt) — indifferentes Gleichgewicht. —

b. Wird er vertical über dem Schwerpunkte unterstützt (aufgehängt), so kehrt er, wenn er aus seiner Lage gebracht wird, stets wieder in dieselbe zurück — stabiles Gleichgewicht. —

Die beiden Gesetze a und b lassen sich durch einen Wagebalken anschaulich machen, dessen Achse sich so verschieben läßt, daß sie durch den Schwerpunkt geht, oder über oder unter demselben liegt.

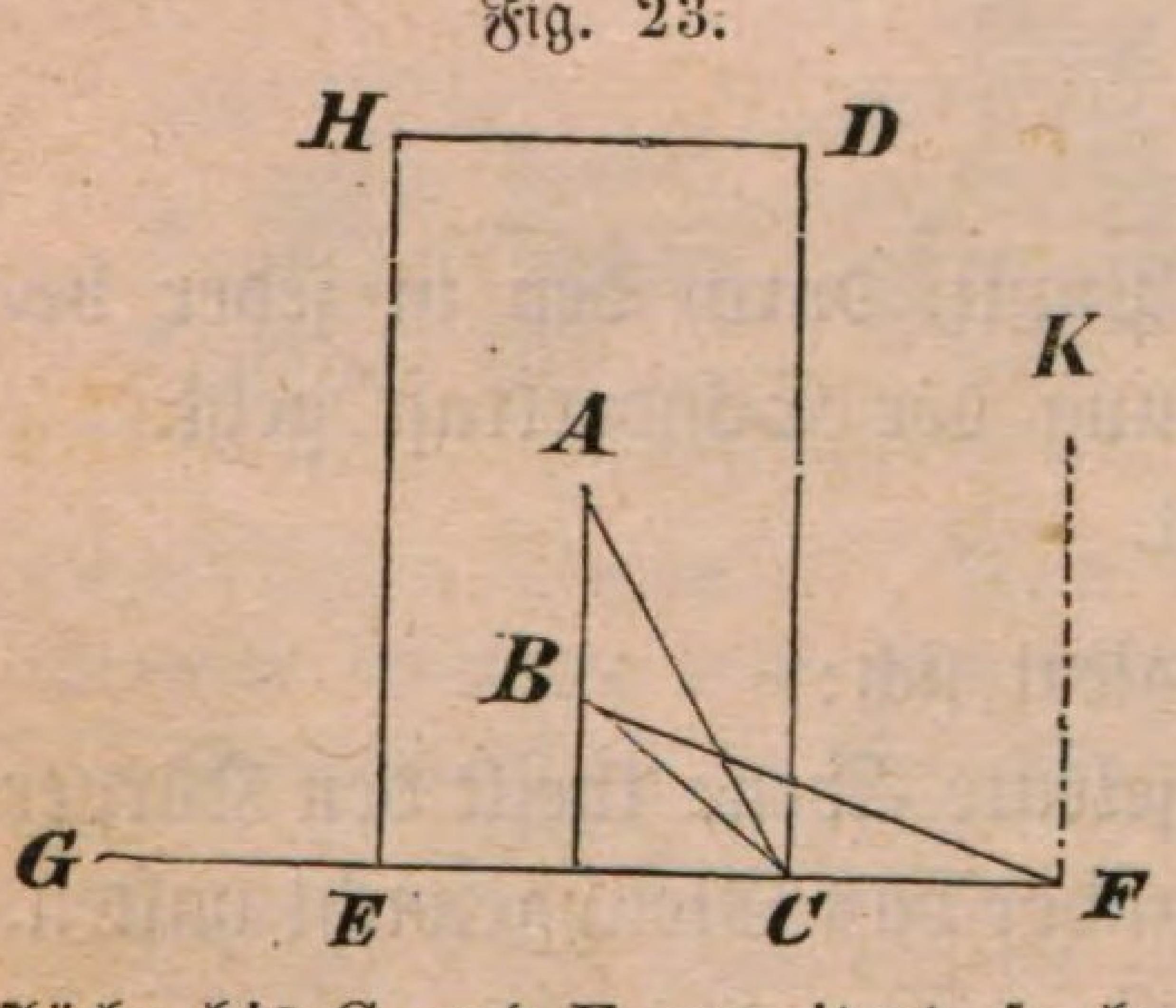
c. Wird ein Körper vertical unter dem Schwerpunkte, und zwar nur in einem Punkte unterstützt, so fällt er bei der geringsten Verrückung um — labiles Gleichgewicht —. Um dies zu verhüten, muß man ihn in einer Fläche unterstützen. Dreht man ihn in diesem Falle um eine der Begrenzungslinien seiner Unterstützungsfläche, so kehrt er so oft in seine Lage zurück, als die durch den Schwerpunkt gezogene Verticale die Unterstützungsfläche trifft.

Fig. 22.



(Fig. 22.) Körper A fällt um, B stellt sich wieder auf seine Unterstützungsfläche.

Fig. 23.



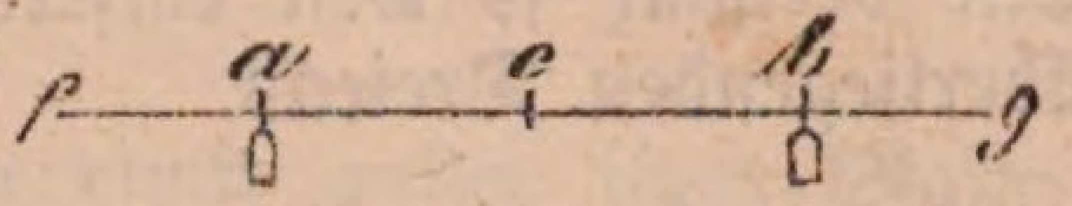
3) Daher ist seine Stabilität desto größer, je größer die Unterstützungsfläche ist und je tiefer der Schwerpunkt liegt.

Wenn in dem Körper CDHE (Fig. 23) der Schwerpunkt in A liegt, so kann der Körper um die Kante C so weit gedreht werden, daß AC vertical wird, also die Drehung = $\angle$ ACD ist; ist aber B der Schwerpunkt, so kann die Drehung = $\angle$ BCD sein und ist seine Unterstützungsfläche bis G und F erweitert, so kann die Drehung = $\angle$ BFK sein, ohne daß der Körper umfällt.

4) Der Schwerpunkt ändert in der Regel seine Lage, wenn die Anordnung der Theile des Körpers eine andere wird oder wenn man die Masse an einer Stelle vergrößert, und zwar rückt er nach der Seite, nach welcher hin man die Theile rückt oder wo die Masse größer geworden ist. Verrückung des Schwerpunktes.

(Fig. 24) fg sei ein Hebel, an welchem in a und b gleiche Gewichte hängen. Dann ist c der Schwerpunkt, wenn ac = bc. Rückt das eine Gewicht aus b nach g hin, so rückt auch der Schwerpunkt des Hebels auf g los.

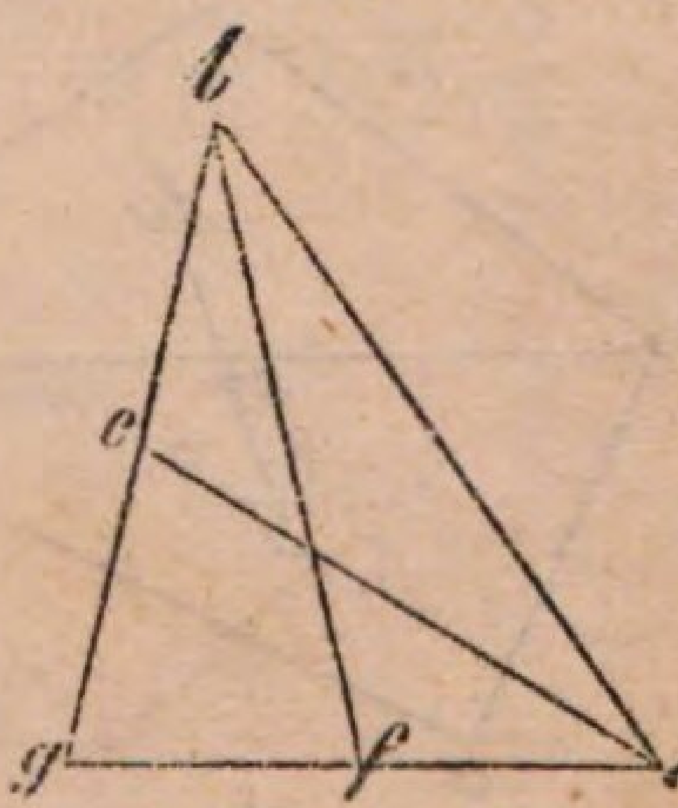
Fig. 24.



Bei der gemeinen Wage liegt die Achse über dem Schwerpunkte des Wagebalkens. Warum darf sie nicht durch den Schwerpunkt gehen? Die Wage ist desto empfindlicher, je näher die Achse über dem Schwerpunkte liegt. Warum? Was würde mit der Wage geschehen, wenn die Achse unter dem Schwerpunkte läge?

Damit Leuchter und Lampen fest stehen, versieht man sie mit einem breiten Fuße, füllt diesen auch wohl mit Blei aus. Pyramiden stehen fester als Prismen. Ein hoch beladener Wagen ist dem Umfallen mehr ausgesetzt, als ein eben so schwer, aber niedrig beladener. Droht ein Wagen umzufallen, so neigen sich die darin sitzenden Personen auf die entgegengesetzte Seite; sie vergrößern die Gefahr, wenn sie aufstehen. Beim aufrechtstehenden Menschen liegt der Schwerpunkt in der Gegend des Magens; seine Unterstützungsfläche ist das Viereck, welches man erhält, wenn man die Fußspitzen und die Fersen durch gerade Linien verbindet. Fechter stellen den einen Fuß vor. Die Matrosen gehen mit gespreizten Beinen. Das Gehen, das Schlittschuhlaufen, das Seiltanzen. Beim Ringen umfaßt man den Gegner möglichst tief unter dem Schwerpunkte. Ein gefülltes Glas muß man möglichst nahe am obern Rande halten, wenn man das Verschütten verhüten will. Will man von einem Stuhle aufstehen, so zieht man die Füße zurück und neigt den Oberkörper nach vorn. Trägt man eine Last in der rechten Hand, so neigt man sich nach links, streckt auch wohl den linken Arm aus. Man geht gebückt oder rückwärts gebogen, je nachdem man eine Last auf dem Rücken oder vor sich trägt. Warum fällt man leichter, wenn ein Fuß seitwärts, als wenn er nach vorn oder hinten ausgleitet? Ein Gewehr ist schwerer horizontal zu halten, wenn man es am oberen Ende des Laufes, als wenn man es am Halse des Kolbens faßt. Ein schwerer Körper balancirt sich leichter, als ein leichter; warum? und doch eine Pfauenfeder oder ein Rohrhalm sehr leicht; warum? Ebenso balancirt sich ein Körper desto leichter, je höher der Schwerpunkt liegt, also ein langer Stab leichter, als ein kurzer. Der Seiltänzer hält die Balancirstange nach rechts, wenn er nach der linken Seite schwankt, oder er dreht schnell das linke Ende der Stange nach unten. Erklärung der Purzelmännchen.

Fig. 25.



§ 30. Mathematische Bestimmung des Schwerpunktes,

§ 30. 1) Der Schwerpunkt eines Dreiecks liegt im Durchschnittspunkte der Linien, welche man von zwei Ecken nach dem Mittelpunkte der gegenüberliegenden Seiten zieht. Er ist von jeder Ecke doppelt so weit entfernt, als von dem Mittelpunkte der gegenüberliegenden Seite.

des Dreiecks,

Beweis: Denkt man sich das Dreieck abg (Fig. 25) in unendlich schmale Streifen parallel ag geschnitten, so liegen die Schwerpunkte derselben in der Linie bf, welche ag halbirt. Wird also die Linie bf in allen ihren Punkten unterstützt, so muß das Dreieck im Gleichgewicht stehen,

also sein Schwerpunkt in bf liegen. Ebenso muß er in der Mittellinie ac, also im Durchschnittspunkte von bf und ac liegen.

der Pyramide.

2) Der Schwerpunkt einer dreiseitigen Pyramide liegt in dem Durchschnittspunkte zweier Linien, welche man von den Ecken nach den Schwerpunkten der gegenüberliegenden Dreiecke zieht. Er ist von jeder Ecke dreimal so weit entfernt, als von dem Schwerpunkte des gegenüberliegenden Dreiecks.

Fig. 26.

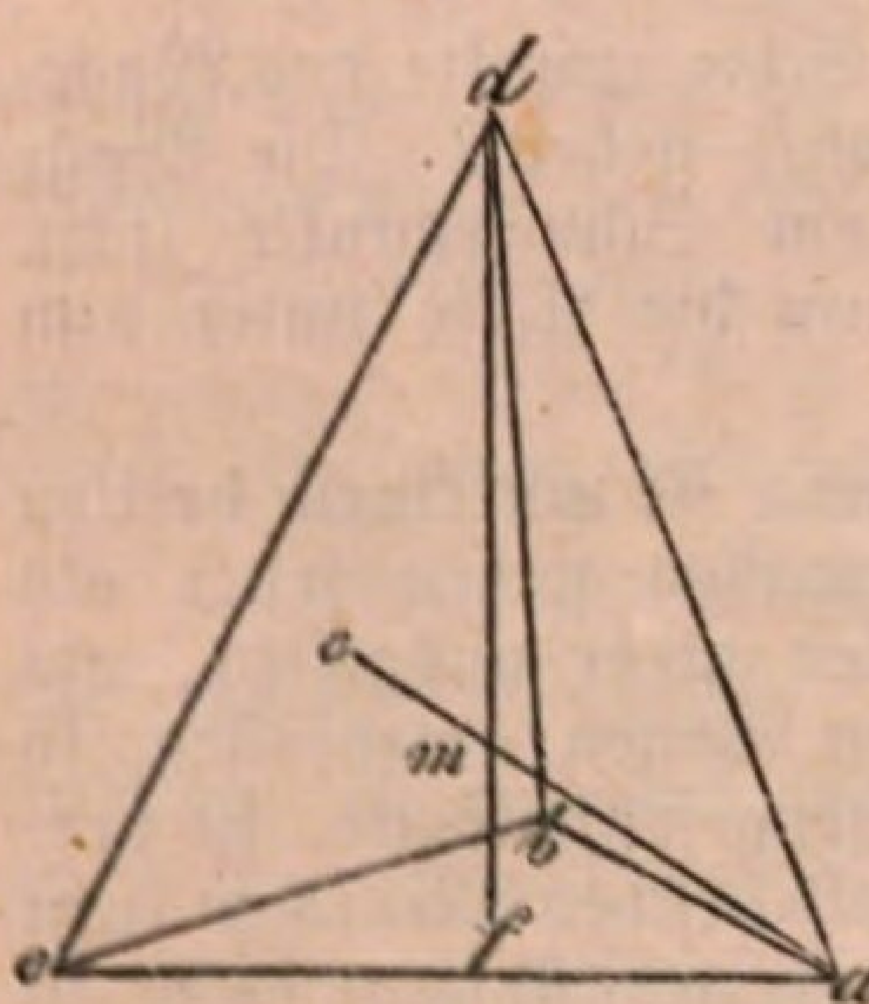
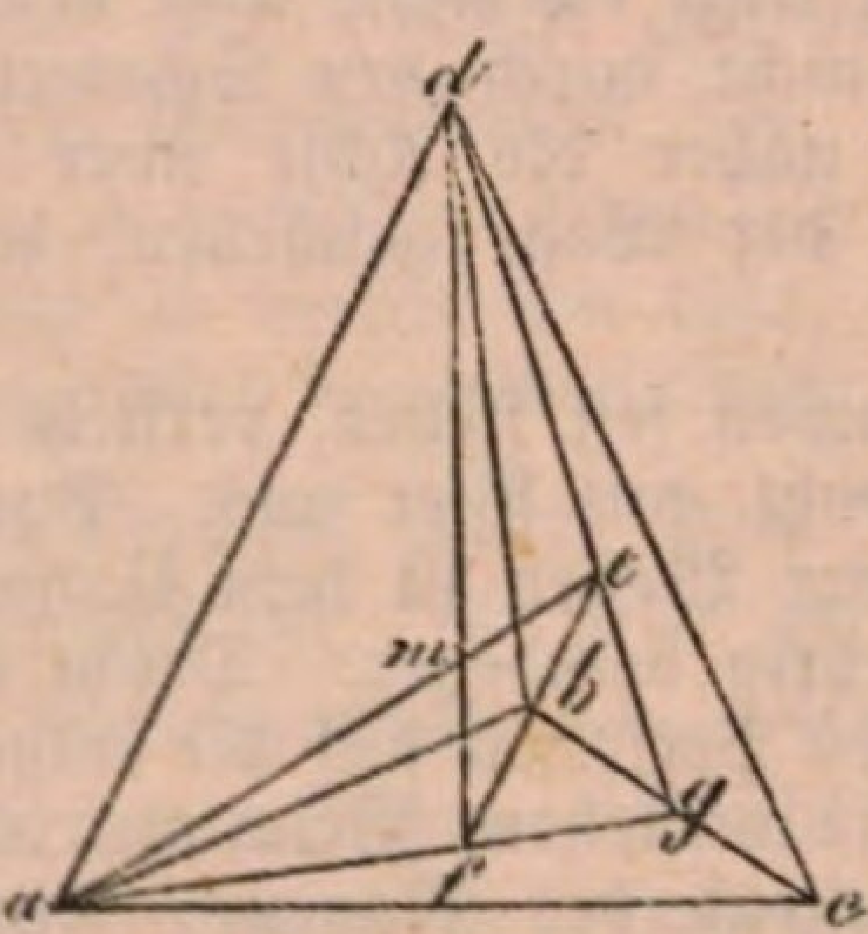


Fig. 27.

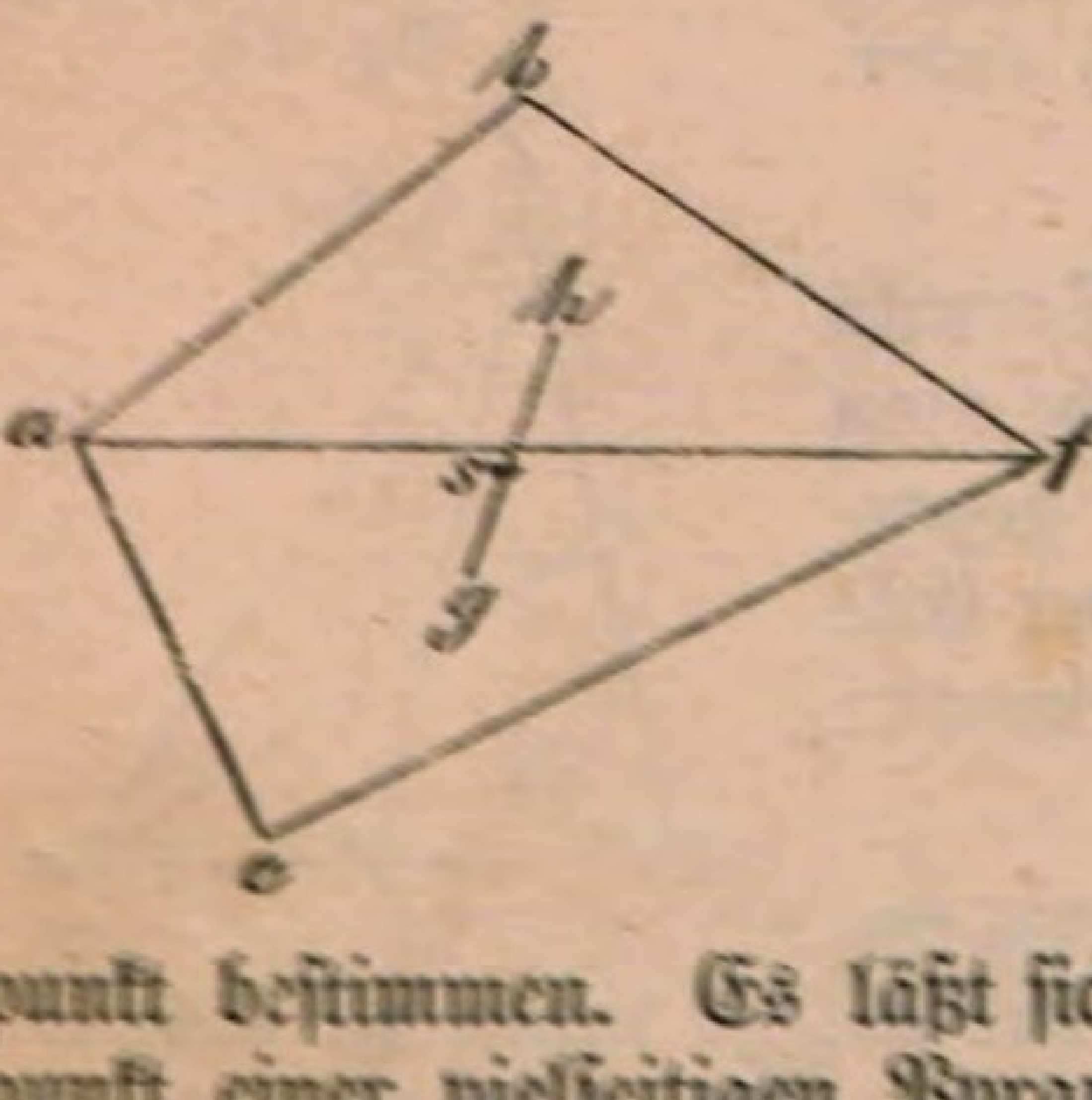


Beweis: Denkt man sich die Pyramide abcd (Fig. 26) in unendlich dünne Scheiben parallel dem $\triangle$ abc getheilt, so liegen die Schwerpunkte derselben in der Linie df, welche die Spitze der Pyramide mit dem Schwerpunkte des $\triangle$ abc verbindet; denn der Schwerpunkt jedes dem $\triangle$ abc parallelen Schnittes liegt in df. Denkt man sich alle Punkte der Linie df unterstützt, so muß die Pyramide im Gleichgewicht stehen, also ihr Schwerpunkt in df liegen. Ebenso muß der Schwerpunkt der Pyramide in ae, wo e der Schwerpunkt des $\triangle$ cbd ist, liegen. Es läßt sich aber stereometrisch beweisen, daß sich ae und df schneiden. Also muß der Schwerpunkt der Pyramide in m liegen. Und nun ist noch zu beweisen, daß am = 3me. Verbinde (Fig. 27) e mit f, so ist $\triangle$ efm $\sim$ $\triangle$ amd; denn $\frac{ge}{ed} = \frac{gf}{fa}$, also ef $\parallel$ ad u. s. w.

Schwerpunkt des Polygons,

3) Den Schwerpunkt einer Fläche, welche aus zwei andern zusammengesetzt ist, erhält man, wenn man die Schwerpunkte der letzteren durch eine gerade Linie verbindet, diese als einen Hebel betrachtet, an dessen Enden die beiden Flächen hängen, und den Unterstützungspunkt sucht, für welchen der Hebel im Gleichgewicht steht.

Fig. 28.



(Fig. 28.) h sei der Schwerpunkt des $\triangle$ abf, g der des $\triangle$ acf. Dann ist s der Schwerpunkt des Vierecks abfc, wenn

$$hs \cdot abf = sg \cdot afc.$$

Hiernach läßt sich nun der Schwerpunkt eines Polygons finden.

Derselbe Satz gilt für einen Körper, der aus zwei anderen zusammengesetzt ist.

Da sich nun jeder eckige Körper in dreiseitige Pyramiden zerlegen läßt, so läßt sich auch von jedem der Schwerpunkt bestimmen. Es läßt sich z. B. leicht nachweisen, daß der Schwerpunkt einer vielseitigen Pyramide in der Verbindungslinie ihrer Spitze mit dem Schwerpunkt der Grundfläche liegt und zwar von der Grund-

fläche aus am Ende ihres ersten Viertels, also der Schwerpunkt eines Kegels im Viertel seiner Achse.

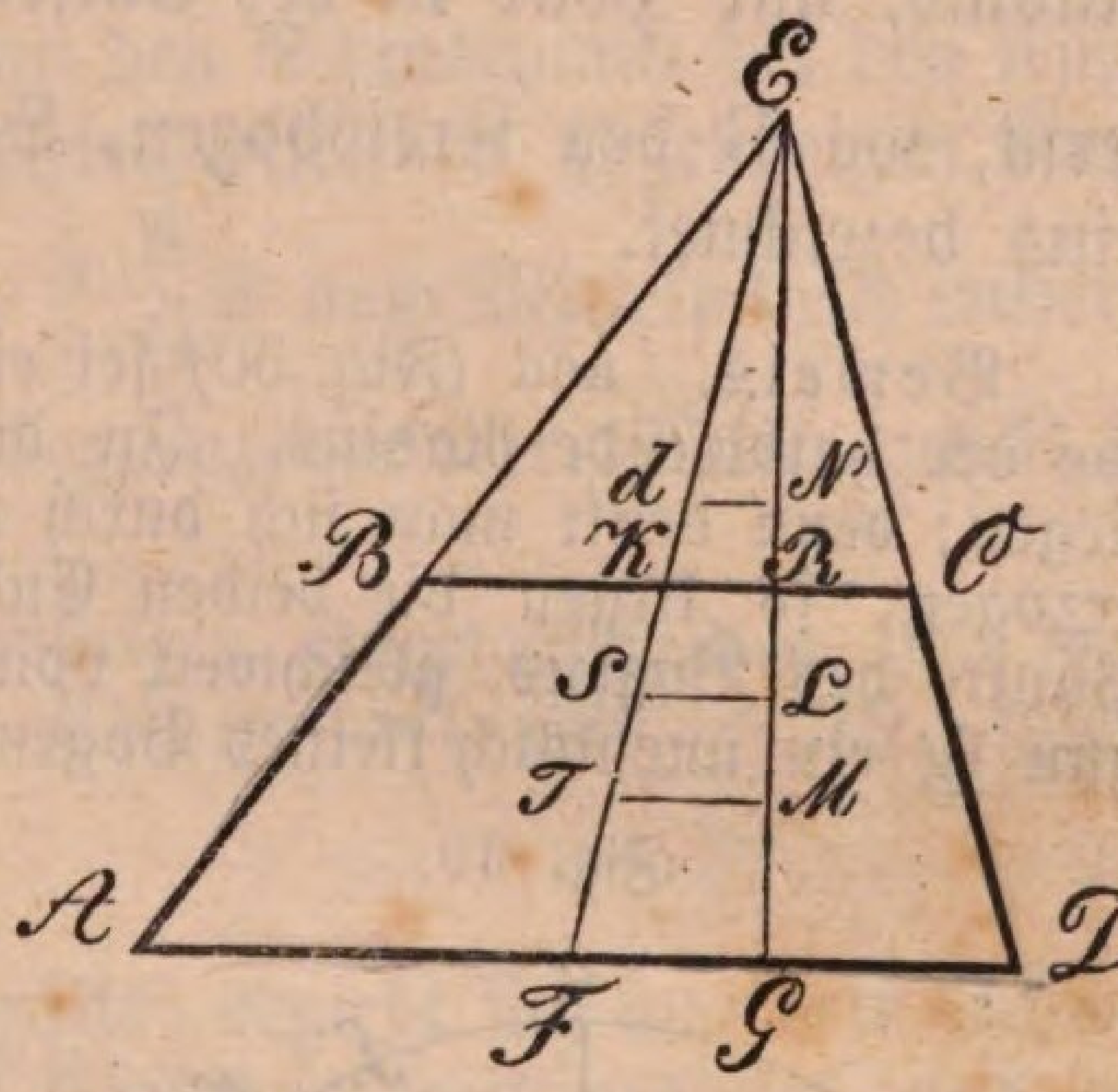
4) Der Schwerpunkt eines Prisma's liegt in der Mitte der Linie, welche die Schwerpunkte der Grundflächen verbindet, also der Schwerpunkt eines Cylinders in der Mitte der Achse. des Prisma's,

Der Beweis ist sehr leicht.

Bei manchen Körpern liegt der Schwerpunkt außer ihrer Masse, z. B. bei der Hohlkugel, bei einem Reifen, einem leeren Fasse.

5) Der Schwerpunkt eines Trapezes liegt in der Geraden, welche die Mittelpunkte der parallelen Seiten verbindet, und zwar um $\frac{h}{3}\left(\frac{a+2b}{a+b}\right)$ von der größeren entfernt, wo a die größere, b die kleinere Parallelseite und h die Höhe des Trapezes bezeichnet. des Trapezes.

Fig. 29.



Beweis. (Fig. 32.) Vervollständige das Trapez ABCD zum Dreieck, ziehe die Mittellinie EF, so ist K der Mittelpunkt von BC. Denkt man sich das Dreieck in unendlich schmale Streifen parallel AD geschnitten, so liegen die Schwerpunkte derselben alle in EF, also auch d Schwerpunkt des Trapezes; er sei T. Der Schwerpunkt des Δ AED sei S, der des Δ BEC d. Dann steht Δ AED im Gleichgewicht, wenn es in S unterstützt wird. Betrachtet man die Linie dT als Hebel, an welchem in d das Δ BEC, in T das Trapez ABCD hängt, so steht dieser im Gleichgewicht, wenn man ihn in S unterstützt. Es muß also, wenn i den Inhalt des Δ BEC und I den des Trapezes ABCD bezeichnet, $i \,.\, dS = I \,.\, ST$, d. i. $\frac{i}{I} = \frac{ST}{dS}$ sein. Ziehe EG $\perp$ AD, und dN, SL und TM $\ddagger$ BC, so ist $\frac{ST}{dS} = \frac{LM}{LN}$, also $\frac{i}{I} = \frac{LM}{LN}$ (I).

Setzen wir die Höhe des Δ BEC d. i. ER $= y$, die Höhe des Trapezes ABCD d. i. RG $= h$ und die Entferunng seines Schwerpunktes T von AD d. i. MG $= x$, Ad $= a$ und BC $= b$, so ist $i = \frac{by}{2}$, $I = (a + b)\,\frac{h}{2}$.

Ferner ist, weil SF $= \frac{1}{3}$ EF, auch LG $= \frac{1}{3}$ EG;
LM d. i. LG — MG $= \frac{1}{3}(h + y) - x$.

Da Ed $= \frac{2}{3}$ EK, so ist EN $= \frac{2}{3}$ ER $= \frac{2}{3}\,y$, also
LN d. i. LE — NE $= \frac{2}{3}(h + y) - \frac{2}{3}\,y = \frac{2}{3}\,h$.

Diese Werthe in Gleichung (I) gesetzt, giebt

$$\frac{by}{(a = b)\,h} = \frac{\frac{1}{3}(h + y) - x}{\frac{2}{3}\,h} \text{ (II).}$$

Es ist aber $\frac{ER}{EG} = \frac{BC}{AD}$ d. i. $\frac{y}{y + h} = \frac{b}{a}$ (III).

Aus Gleichung (III) und (II) ergiebt sich: $x = \frac{h}{3}\left(\frac{a + 2b}{a + b}\right)$.

Schwerpunkt der abgekürzten Pyramide.

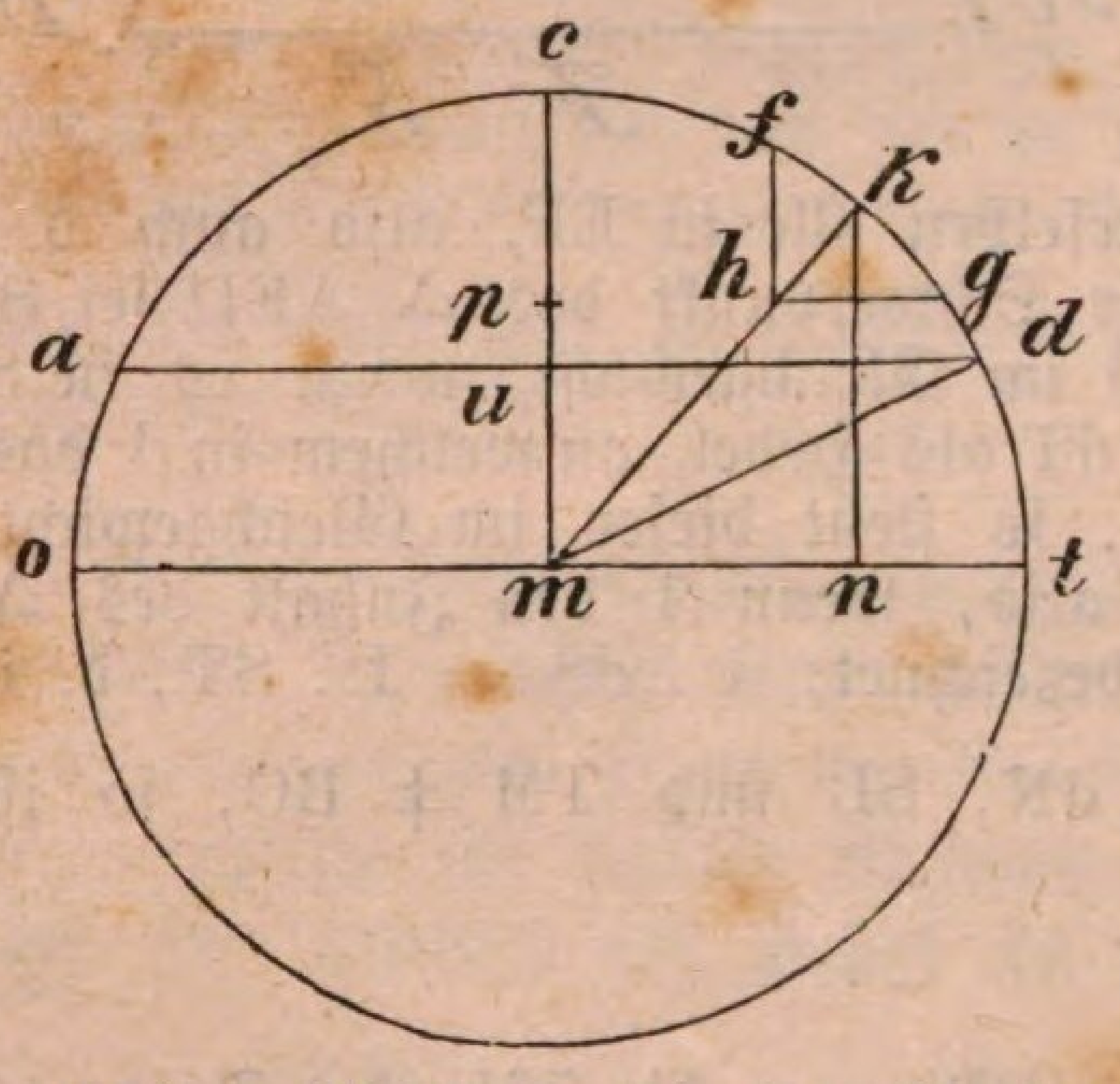
In derselben Weise läßt sich der Schwerpunkt der abgekürzten Pyramide finden; er liegt in der Geraden, welche die Schwerpunkte der Deckflächen verbindet, und zwar um $\frac{h}{4}\left(\frac{a + 2\sqrt{ab} + 3b}{a + \sqrt{ab} + b}\right)$ von der größeren Deckfläche entfernt, wo h die Höhe, a die größere, b die kleinere Deckfläche bezeichnet.

Schwerpunkt des Kreisbogens.

6) Der Schwerpunkt eines Kreisbogens liegt auf dem halbirenden Radius, und zwar in der Entfernung $\frac{S}{B}R$ vom Kreismittelpunkte entfernt, wo B den Kreisbogen, S die zugehörige Sehne und R den Radius bezeichnet.

Beweis. acd (Fig. 30) sei ein Kreisbogen, ad die dazu gehörige Sehne, mc der halbirende Radius. In diesem muß der Schwerpunkt des Bogens liegen; denn denkt man sich durch alle Punkte dieses Radius Parallele zu ad gezogen, so liegen die beiden Endpunkte jeder derselben, das sind je zwei Punkte des Bogens, gleichweit von mc. Der gesuchte Schwerpunkt sei p. Ist nun fg ein unendlich kleines Bogenstück, so kann es als gerade Linie betrachtet werden und der nach der Mitte desselben gezogene Radius mk steht senkrecht auf ihm. Ziehe hg ‡ ad und fh $\perp$ hg, ot ‡ ad, kn $\perp$ ot, so ist $\triangle$ fgh $\sim$ $\triangle$ mnk; denn ihre Seiten stehen senkrecht auf einander.

Fig. 30.



Also $\frac{fg}{hg} = \frac{mk}{nk}$ d. i. fg . nk = mk . hg (I). Es ist aber fg . nk das statische Moment des Bogens fg in Beziehung auf die Linie ot, mk ist der Radius und hg gleich der Projection des Bogens fg auf ad. Die Gleichung (I) drückt daher das Gesetz aus: Das statische Moment eines Bogenstückes in Beziehung auf ot ist gleich dem Producte aus dem Radius und der Projection des Bogenstückes auf ad. Folglich ist die Summe der statischen Momente aller Stücke des Bogens acd, d. i. das statische Moment des Bogens acd, gleich dem Producte aus Radius und Summe der Projectionen aller Bogenstücke auf ad. Die Summe dieser Projectionen ist aber die Sehne ad, folglich ist das statische Moment des Bogens acd = dem Producte aus Radius und Sehne, also = RS. Es ist aber auch das statische Moment des Bogens acd = dem Producte aus Bogen und der Linie pm, d. i. = B . pm, also B . pm = RS, folglich pm = $\frac{S}{B}$. R oder $\frac{pm}{R} = \frac{S}{B}$, d. h. in Worten?

Schwerpunkt der Kugelkappe.

In derselben Weise kann der Schwerpunkt einer Kugelkappe gefunden werden; er liegt in dem Kugelradius, welcher ihren Mittelpunkt trifft, und zwar vom Kugelmittelpunkte um $\frac{S}{B}$. R entfernt, wo B die

Kappe, S den sie begrenzenden Kugelschnitt und R den Kugelradius bezeichnet, d. i. in der Mitte ihrer Höhe.

Den Schwerpunkt eines Kreisausschnittes findet man leicht mit Hilfe des Schwerpunktes für den Kreisbogen, wenn man sich den Ausschnitt in unendlich viele Dreiecke zerlegt denkt, deren Spitzen im Kreismittelpunkte liegen und deren Grundlinien den zugehörigen Kreisbogen bilden. Er liegt in dem halbirenden Radius und zwar um $\frac{3}{4}\,\frac{SR}{B}$ vom Kreis-Mittelpunkte entfernt, wo S die zugehörige Sehne, B den zugehörigen Bogen und R den Kreisradius bezeichnet. Schwerpunkt des Kreisausschnittes,

In ganz ähnlicher Weise findet man den Schwerpunkt für den Kugelausschnitt: er liegt in dem, den Mittelpunkt der zugehörigen Kappe treffenden Kugelradius, und zwar um $\frac{3}{4}\,\frac{S}{B}R$ vom Mittelpunkte entfernt, wo B die Kugelkappe, S die dieselbe begrenzende Kreisfläche und R den Kugelradius bezeichnet. des Kugelausschnittes,

Wenn nun H die Höhe des zugehörigen Kugelabschnittes ist, so ist $B = 2\pi RH$ und $S = \pi(R^2 - (R - H)^2) = \pi H\ (2R - H)$, folglich $\frac{3}{4}\,\frac{S}{B}\cdot R = \frac{3}{4}\left(R - \frac{h}{2}\right)$.

Der Schwerpunkt eines Kreisabschnittes ergiebt sich aus dem Schwerpunkte des Dreiecks, welches ihn zum Kreisausschnitt ergänzt, und dem Schwerpunkte dieses Kreisausschnittes (siehe die Schwerpunktbestimmung des Trapez): er liegt in dem halbirenden Radius, um $\frac{S^3}{12f}$ vom Kreismittelpunkte entfernt, wo S die zugehörige Sehne und f den Flächeninhalt des Kreisabschnittes bezeichnet. des Kreisabschnittes,

In derselben Weise findet man den Schwerpunkt des Kugelabschnittes aus dem Schwerpunkte des zugehörigen Kugelausschnittes und Kegels; er liegt in dem Radius, welcher den Mittelpunkt der zugehörigen Kugelkappe trifft, und zwar um $\frac{3}{4}\,\frac{Sr^2}{f}$ vom Kugelmittelpunkte entfernt, wo S seine Grundfläche, f den kubischen Inhalt des Kugelabschnittes und r den Radius von dessen Grundfläche bezeichnet, oder wenn man S, r und f durch den Kugelradius und die Höhe des Kugelabschnittes, H ausdrückt, um $\frac{3}{4}\,\frac{(2R - H)^2}{3R - H}$ vom Kugelmittelpunkte entfernt. des Kugelabschnittes.

Archimedes bestimmte zuerst den Schwerpunkt auf mathematischem Wege.

Fallbewegung.

§ 31. Der freie Fall. Alle Körper fallen gleich schnell.

§ 31. Vom freien Falle. Die Erfahrung lehrt, daß im luftleeren Raume alle Körper gleich schnell fallen, nämlich (in unseren Gegenden) in der ersten Secunde 4,9045 Meter (in runder

Zahl 5 Meter), so daß also weder das Gewicht, noch die Art der Materie von Einfluß auf die Fallgeschwindigkeit ist.

Auf dieses Gesetz kommt man a priori, wenn man von den Voraussetzungen ausgeht, daß die Stärke der Erdanziehung sich nur nach der Masse der Körper richtet (§ 6), und daß die Beschleunigung gleich der treibenden Kraft dividirt durch die Masse ist (§ 15).

Denn: Hat ein Körper A nmal so viel Masse, als ein anderer B, so wird nach der ersten Voraussetzung A nmal so stark von der Erde angezogen, als B. Wirkt aber auf die nmal so große Masse A eine nmal so starke Kraft als auf B, so muß sie nach der zweiten Voraussetzung gleiche Beschleunigung mit dieser erhalten.

Führen die auf eine Voraussetzung gebauten Schlüsse zu einem richtigen Resultate, so gewinnt die Voraussetzung an Wahrscheinlichkeit. Wir haben also in der Erscheinung, daß alle Körper mit gleicher Geschwindigkeit fallen, einen neuen Beleg für die Richtigkeit der beiden angeführten Gesetze.

Es wird sich später bei Betrachtung des Pendels ergeben, daß die Stärke der Erdanziehung mit zunehmender Höhe abnimmt. Diese Abnahme ist jedoch für diejenigen Höhen, bis zu welchen wir gewöhnlich gelangen, so gering, daß wir sie unberücksichtigt lassen können.

Z. B. ein Stein, den man von einem Thurme herabfallen läßt, durcheilt in 1, $1^1/_3$, $1^1/_2$ 2c. Secunden dieselben Räume, die ein anderer Stein in diesen Zeiten zurücklegt, der von einem Hause herabfällt.

Warum verliert beim Fallen von zwei Körpern, welche gleiche Gestalt und gleiches Volumen haben, der specifisch leichtere Körper durch den Luftwiderstand mehr an seiner Geschwindigkeit, als der specifisch schwerere? oder allgemeiner: Warum verliert von zwei Körpern von gleicher Gestalt und gleichem Volumen, die sich in demselben Mittel bewegen, der specifisch leichtere mehr an seiner Geschwindigkeit, als der andere?

§ 32. Zunahme der Fallgeschwindigkeit.

§ 32. Da beim freien Falle die treibende Kraft (die Erdschwere) während der ganzen Zeit der Bewegung, und zwar mit constanter Stärke wirkt, so gelten für ihn die in § 12, Nr. 3 entwickelten Gesetze, nämlich:

Fällt der Körper	im 1.	Momente	w	Meter,
so fällt er	im 2.	„	2w	„
	im 3.	„	3w	„
	im 4.	„	4w	„
	.		.	
	.		.	
	.		.	
	im nten	„	nw	„
	.		.	
	.		.	
	.		.	

und daraus folgt, wie am angeführten Orte:

1) Die Bewegung eines freifallenden Körpers ist eine beschleunigte und

2) Die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers wächst in gleichen Zeiten um gleich viel.

Die Geschwindigkeit ist also im letzten Momente, der tten Secunde tmal so groß, als im letzten Momente der 1. Secunde.

Denkt man sich die obige Reihe für eine ganze Secunde des Fallens fortgesetzt, so würde ihre Summe den Fallraum der 1. Secunde geben. Ein Körper fällt aber in der 1. Secunde 5 Meter und es ist bekannt, daß, wenn man in einer arithmetischen Reihe für jedes Glied das mittelste (oder bei gerader Gliederzahl das arithmetische Mittel der beiden mittleren) setzt, die Summe der Reihe unverändert bleibt. Das mittelste Glied in unserer Reihe ist aber der Fallraum des letzten Momentes der 1. halben Secunde. Folglich würde man als Summe obiger Reihe 5 Meter erhalten, wenn man für jedes Glied den Fallraum des letzten Momentes der ersten halben Secunde setzte. Es würde demnach der fallende Körper 5 Meter zurücklegen, wenn er sich eine Secunde lang mit der Endgeschwindigkeit der ersten halben Secunde gleichförmig bewegte, und das heißt: Die Endgeschwindigkeit der ersten halben Secunde ist = 5 Meter.

Hieraus und aus Nr. 2 folgt:

Größe der Endgeschwindigkeit.

die Endgeschwindigkeit der 1. Secunde = 10 Mtr. (genau 9,809 Mtr.)
" " " 2. " = 2.10 Mtr.
" " " 3. " = 3.10 " .
. .
. .
" " " t. " = t.10 "

3) Also die Endgeschwindigkeit der tten Secunde c = tg (wo g die Endgeschwindigkeit der ersten Secunde, d. i. die Beschleunigung der Erdschwere bezeichnet).

Diese Formel bedeutet: Die Endgeschwindigkeit irgend einer Secunde ist gleich der Secundenzahl mal der Beschleunigung der Erdschwere; z. B. die Endgeschwindigkeit der 20. Secunde ist gleich 20.9,809 Mtr.

Hieraus geht nun wieder hervor:

Fallraum einzelner Secunden.

Wenn der Fallraum der 1. Secunde = 5 Mtr.
so ist " " " 2. " = 3.5 Mtr.
" " " 3. " = 5.5 "
" " " 4. " = 7.5 "
.
.
.
" " " tten " = (2t—1).5 Mtr.

Also 4) der Fallraum der tten Secunde $f = (2t-1)\frac{g}{2}$.

— Diese Formel bedeutet? —

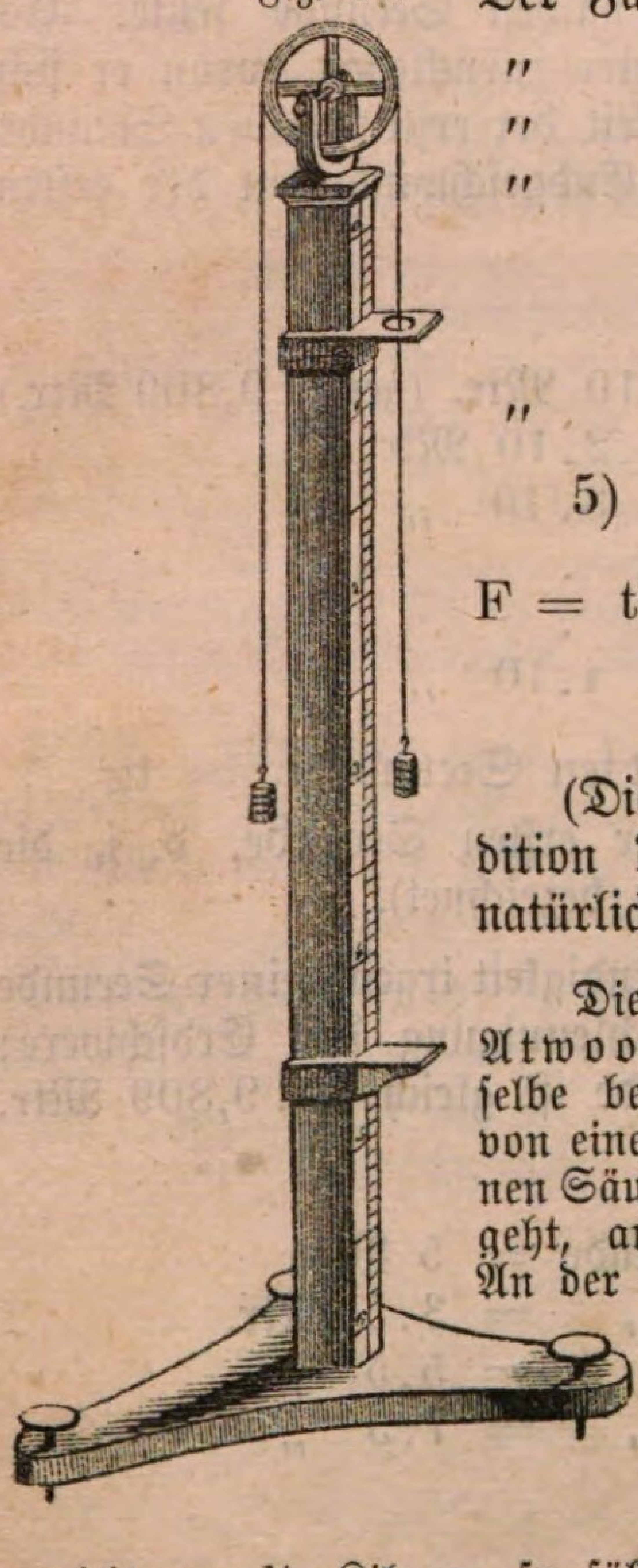
Anleitung zur Entwickelung: Die Endgeschwindigkeit der 1. Secunde war = 2.5 Meter. Der Körper würde also, wenn er nicht mehr von der Erde angezogen würde, in der 2. Secunde 2.5 Mtr. fallen; die Erde zieht ihn aber in der 2. Secunde eben so stark an, als in der 1., also geht er wegen der Erdanziehung noch 5 Mtr., also zusammen 3.5 Mtr. Ebenso läßt sich der Fallraum der 3. Secunde aus der Endgeschwindigkeit der 2., der Fallraum der tten Secunde aus der Endgeschwindigkeit der (t—1)sten entwickeln.

Beispiel. Der freifallende Körper fällt in der 20. Secunde (2.20—1) 5 Mtr.

Fallraum für beliebige Zeitlängen.

Aus den Fallräumen der einzelnen Secunden läßt sich durch Addition der Fallraum von mehreren Secunden berechnen. Man erhält:

Fig. 31.



Der	Fallraum	in	1	Secunde	=	5 Mtr.
"	"	"	2	Secunden	=	4.5 Mtr.
"	"	"	3	"	=	9.5 "
"	"	"	4	"	=	16.5 "
			.			
			.			
			.			
"	"	"	t	"	=	t^2.5 "

5) Also der Fallraum in t Secunden

$$F = t^2.\frac{g}{2} \text{ Mtr.}$$

— In Worten?

(Die Mathematik lehrt, daß man durch Addition der ungeraden Zahlen die Quadrate der natürlichen Zahlenreihe erhält.)

Bestätigung der Fallgesetze durch den Versuch.

Die Richtigkeit dieser Gesetze läßt sich durch die Atwood'sche Fallmaschine (Fig. 31) nachweisen. Dieselbe besteht im Wesentlichen aus einer Rolle, welche von einer 7 Fuß hohen, mit einem Maßstabe versehenen Säule getragen wird, und über welche eine Schnur geht, an deren Enden zwei gleiche Gewichte hängen. An der Säule sind zwei Scheiben angebracht, welche sich beliebig verschieben lassen, und von welchen die eine eine Oeffnung hat, durch die das eine Gewicht durchfallen kann.

Wiegt jedes Gewicht 1 Kilogramm und man legt auf das eine ein Uebergewicht von $\frac{1}{4}$ Kilogr., so fällt das letztere 9mal langsamer, als ein freifallender Körper, weil die Schwerkraft des Viertelkilogr. 9mal so viel Masse in Bewegung zu setzen hat, als beim freien Falle. Beträgt das Uebergewicht

$\frac{1}{n}$ der ganzen Masse, so ist die Geschwindigkeit $n$mal geringer, als beim freien Falle.

Durch die Maschine läßt sich nun erstens die Richtigkeit des 5. Gesetzes nachweisen, — auf welche Weise? — und daraus ergiebt sich die Richtigkeit des 4. von selbst. Zweitens läßt sich die Richtigkeit vom 3. darthun, indem man das Gewicht durch die Oeffnung der einen Scheibe fallen läßt, wobei sich das Uebergewicht abhebt. — Genauere Beschreibung des Verfahrens. — Hieraus ergiebt sich dann die Richtigkeit vom 1. und 2. Gesetze: Auf welche Weise?

Alle Gesetze für den freien Fall haben wir aus den beiden Voraussetzungen entwickelt, 1) daß die Erdschwere mit constanter Stärke wirkt, und 2) daß der Raum, den der fallende Körper in der 1. Secunde durchläuft, 4,9045 Mtr. beträgt. Jede andere constant wirkende Kraft unterscheidet sich nun von der Erdschwere nur dadurch, daß je nach ihrer Stärke der von dem getriebenen Körper in der 1. Secunde durchlaufene Raum ein anderer ist. Es müssen also die für den freien Fall entwickelten Gesetze auch für die Bewegung jedes Körpers gelten, der durch irgend eine constante Kraft getrieben wirkt, nur daß je nach deren Stärke die Größe g einen anderen Werth hat. Die für den freien Fall entwickelten Formeln haben also folgende allgemeine Bedeutung: Die Fallgesetze Nr. 1 bis 5 gelten für jede beschleunigende Kraft.

Es war die Geschwindigkeit eines freifallenden Körpers am Ende der 1. Secunde gleich g, und $\frac{g}{2}$ der Fallraum der 1. Secunde. Folglich ist für jeden durch eine constant wirkende Kraft getriebenen Körper die Beschleunigung der ersten Secunde doppelt so groß, als der in der 1. Secunde zurückgelegte Weg, oder umgekehrt: der in der 1. Secunde zurückgelegte Weg ist gleich der halben Beschleunigung.

Die Formel unter Nr. 3, $c = tg$ bedeutet: Für jeden durch eine constante Kraft getriebenen Körper ist die Endgeschwindigkeit irgend einer Secunde gleich der Secundenzahl multiplicirt in die Beschleunigung.

Gieb in derselben Weise die allgemeine Bedeutung der Formeln Nr. 4 und 5 an.

§ 33. **Fall auf der schiefen Ebene.** Liegt ein Körper auf einer schiefen Ebene, deren Höhe $= h$ und deren Länge $= l$ ist, so ist nach § 22 die Kraft, mit welcher er auf der schiefen Ebene herunter getrieben wird, $\frac{h}{l}$mal so groß als die Kraft, mit welcher ihn die Erde anzieht, folglich ist hier nach § 15 die Beschleunigung des Falles $\frac{h}{l} . g$. Man darf daher nur in den Formeln für den freien Fall für g, d. i. 9,809 Mtr., $\frac{h}{l} g$ oder $\frac{h}{l} . 9{,}809$ Mtr. setzen, um die Formeln für den Fall auf der schiefen Ebene zu erhalten. Sie heißen demnach: § 33. Fall auf der schiefen Ebene.

1) Die Endgeschwindigkeit der $t$ten Secunde $c = t\frac{h}{l}g$.

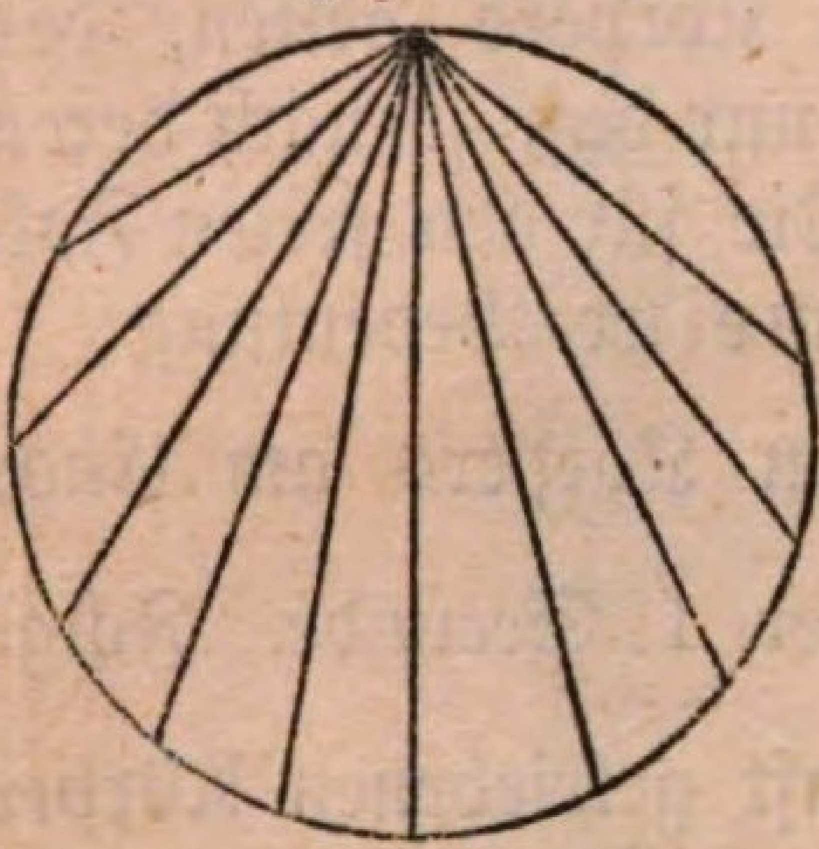
2) Der Fallraum der $t$ten Secunde $f = (2t-1)\frac{h}{l}\frac{g}{2}$.

3) Der Fallraum in t Secunden $F = t^2\frac{h}{l}\frac{g}{2}$.

Es ist aber $\frac{h}{l} = \sin a$, d. i. sinus des Neigungswinkels der schiefen Ebene; also kann man überall in diesen Formeln für $\frac{h}{l}$ auch $\sin a$ setzen.

Aufgaben. Es ist zu beweisen: 1) Läßt man einen Körper auf schiefen Ebenen von verschiedener Länge, aber gleicher Höhe herabfallen, so kommt er am Fuße derselben mit einerlei Geschwindigkeit an, und zwar mit derjenigen, welche er, von derselben Höhe frei herunterfallend, erreichen würde.

Fig. 32.



2) Zieht man in einem vertical stehenden Kreise (Fig. 32) den verticalen Durchmesser und von dem Fußpunkte desselben beliebig viele Sehnen, so haben die schiefen Ebenen, welche durch diese Sehnen dargestellt werden, die Eigenthümlichkeit, daß ein Körper auf allen dieselbe Zeit gebraucht, um vom höchsten bis zum tiefsten Punkte zu gelangen, als er zum Durchfallen des verticalen Durchmessers gebraucht. Beweise dies.

Die Gesetze des freien Falles und des Falles auf der schiefen Ebene sind von Galiläi entdeckt. 1620.

Vom Wurfe.

§ 34. Der Wurf senkrecht aufwärts.

§ 34. Der Wurf senkrecht aufwärts. Wir wollen die Bewegung des geworfenen Körpers erst von dem Augenblicke an untersuchen, wo die Wurfkraft zu wirken aufhört. Ertheilt ihm nun die Wurfkraft eine Geschwindigkeit von c Meter und enthält die Secunde n Momente, so steigt er

(lies die Reihe von unten nach oben!)

.　　　　　　.
.　　　　　　.
.　　　　　　.

im 4. „ $\frac{c}{n} - 3w - w = \frac{c}{n} - 4w$ „

im 3. „ $\frac{c}{n} - 2w - w = \frac{c}{n} - 3w$ „

im 2. „ $\frac{c}{n} - w - w = \frac{c}{n} - 2w$ „

↑ im 1. Momente $\frac{c}{n} - w$ Meter,

Hieraus folgt:

1) Die Geschwindigkeit eines senkrecht aufwärts geworfenen Körpers nach t Secunden ist gleich der Differenz der ihm durch den Wurf ertheilten Geschwindigkeit und der Endgeschwindigkeit eines freifallenden Körpers nach t Secunden, d. i. $G = c - tg$.

Geschwindigkeit und Höhe des geworfenen Körpers.

Denn die Reihe w, 2w, 3w u. s. w. ist dieselbe Reihe, aus welcher sich beim freien Falle die Endgeschwindigkeit ergab.

2) Die Höhe, welche ein aufwärts geworfener Körper in t Secunden erreicht, ist gleich der Differenz der Höhe, bis zu welcher ihn der Wurf allein treiben würde, und dem Fallraum in t Secunden,

$$\text{d. i. } H = tc - t^2\frac{g}{2}.$$

Denkt man sich die Reihe für t Secunden fortgesetzt, so erhält man tn Posten, von denen jeder $\frac{c}{n}$ ist, und außerdem die Fallreihe für t Secunden. Addirt man nun, so erhält man $tn.\frac{c}{n}$ minus den Fallraum in t Secunden, d. i. $tc - t^2\frac{g}{2}$.

Da der aufwärts geworfene Körper einmal einen Punkt erreicht, wo er still steht, so muß das letzte Glied der obigen Reihe = 0 sein. Da nun in der Reihe jedes folgende Glied um w Meter kleiner ist, als das vorangehende, so muß das vorletzte Glied = w Meter, das drittletzte = 2w Meter, das viertletzte = 3w Meter u. s. w. sein.

Die Bewegung des Aufsteigens ist die entgegengesetzte des Herabfallens.

Die Reihe ist also vollständig folgende:

(von unten gelesen!)

im letzten	„	0
im vorletzten	„	w
.	„	2w
.	„	3w
.	„	4w
.		.
.		.
.		.
im 3.	„	$\frac{c}{n} - 3w$
im 2.	„	$\frac{c}{n} - 2w$

Die Steigung beträgt im 1. Momente $\frac{c}{n} - w$ ↑

Hieraus geht hervor:

3) Der aufwärts geworfene Körper hat beim Zurückfallen in jeder Höhe dieselbe Geschwindigkeit, die er daselbst beim Aufsteigen hatte. Er gelangt also mit derselben Geschwindigkeit auf die Erde zurück, mit welcher er aufwärts geworfen wurde.

Denn nachdem der Körper den Punkt erreicht hat, wo er stillsteht, fällt er zurück und zwar im 1. Momente w, im 2. 2w, dann 3w, 4w u. s. w.

4) Er gebraucht zum Herabfallen eben so viel Zeit, als er zum Aufsteigen gebrauchte.

In den beiden Formeln unter Nr. 1 und 2 kommen außer g die vier unbestimmten Größen G, c, t und H vor. Sind zwei von ihnen gegeben, so lassen sich die andern beiden berechnen, z. B.

Aufgaben für den senkrecht aufwärts gerichteten Wurf.

Aufgabe. Welche Geschwindigkeit hat ein senkrecht aufwärts geworfener Körper nach 5 Secunden, wenn seine anfängliche Geschwindigkeit 80 Meter beträgt? Oder ein senkrecht aufwärts geworfener Körper hat nach 4 Secunden noch eine Geschwindigkeit von 20 Meter; mit welcher Geschwindigkeit war er geworfen? Bilde die übrigen aus den Formeln sich ergebenden Aufgaben. Bei diesen Aufgaben können die gegebenen Zahlenwerthe so gewählt werden, daß G und H positiv, negativ oder gleich Null werden. Welche Bedeutung haben dann die beiden letzten Werthe? Sind in Formel Nr. 2 H und c gegeben, so erhält man für t zwei Werthe. Warum? und welche Bedeutung haben diese?

Mit Berücksichtigung der Fallgesetze lassen sich auch Aufgaben folgender Art lösen: Mit welcher Geschwindigkeit muß ein Körper aufwärts geworfen werden, wenn er 160 Meter hoch steigen soll, oder wenn er nach 8 Secunden wieder zur Erde kommen soll? oder wenn er in einer Höhe von 60 Mtr. noch eine Geschwindigkeit von 10 Meter haben soll? Oder wie hoch steigt ein Körper, der mit einer Geschwindigkeit von 80 Meter geworfen wird, oder der 6 Secunden nach dem Wurfe wieder zur Erde kommt?

Oder: In welcher Höhe begegnen sich 2 Körper, von welchen der zweite 12 Secunden später als der erste, und der erste mit einer Geschwindigkeit von 90 Meter, der andere mit einer Geschwindigkeit von 60 Meter geworfen wird.

Nach den oben entwickelten Gesetzen sollte ein aufwärts geworfener Körper bei seinem Zurückfallen auf die Erde hier dieselbe Wirkung ausüben, als beim Aufsteigen. Z. B. eine aufwärts geschossene Büchsenkugel sollte beim Herabfallen mit derselben Kraft ein Brett durchschlagen, wie wenn sie eben aus dem Laufe käme; und doch macht die zurückfallende Kugel einen kaum merklichen Eindruck auf ein solches. Wie kommt das?

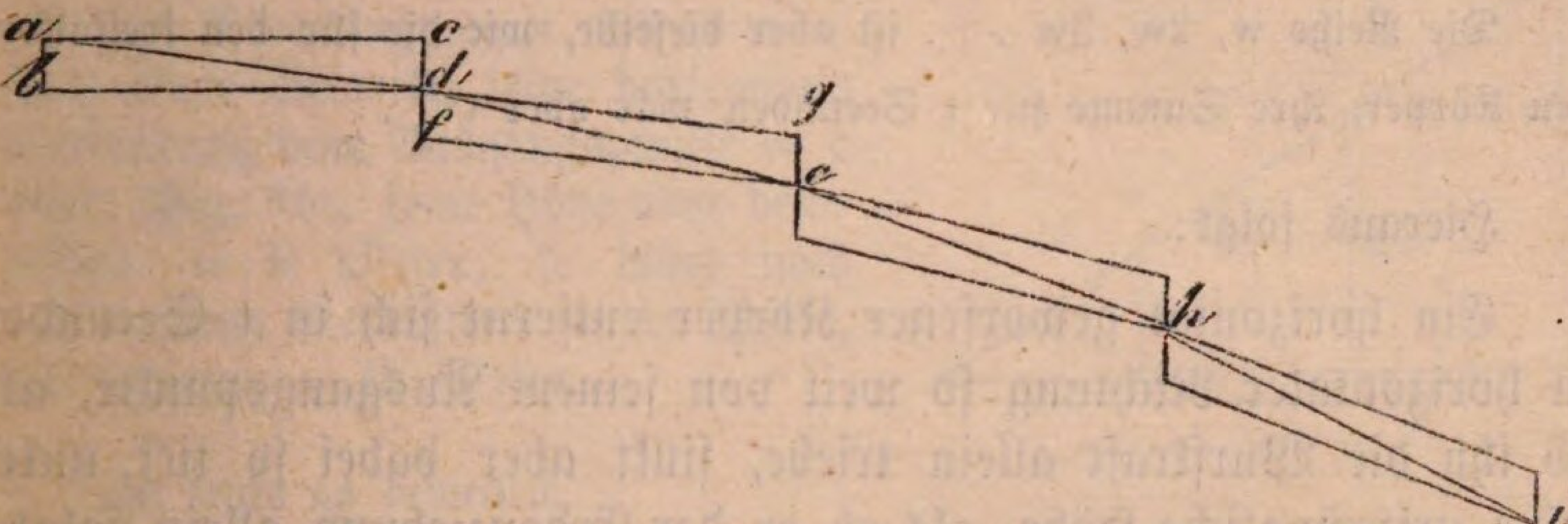
Die in diesem Paragraphen entwickelten Gesetze gelten für jede verzögernde Kraft, nur daß g je nach der Größe der Kraft einen andern Werth erhält. Sie lassen sich allgemein so aussprechen: Wirkt auf einen in Bewegung befindlichen Körper in der seiner Bewegung entgegengesetzten Richtung eine stetige Kraft, so verliert 1) der Körper in t Secunden so viel an Geschwindigkeit, als die verzögernde Kraft ihm in t Secunden ertheilen würde. 2) Der Weg wird in t Secunden um diejenige Strecke verkürzt, die er, von der verzögernden Kraft allein getrieben, in t Secunden zurücklegen würde. 3) Ist die verzögernde Kraft gleich der Kraft, die ihn in Bewegung gesetzt hat, so

braucht sie eben so viel Zeit, ihn in Ruhe zu versetzen, als die treibende Kraft gebraucht hat, ihm seine Geschwindigkeit zu ertheilen.

§ 35. **Der horizontale Wurf.** Gesetzt, ein Körper werde mit einer solchen Kraft geworfen, daß er sich, nachdem die Wurfkraft zu wirken aufhört, durch das Beharrungsvermögen allein in einem Momente horizontal von a nach c bewegte (Fig. 33), und die Erdanziehung

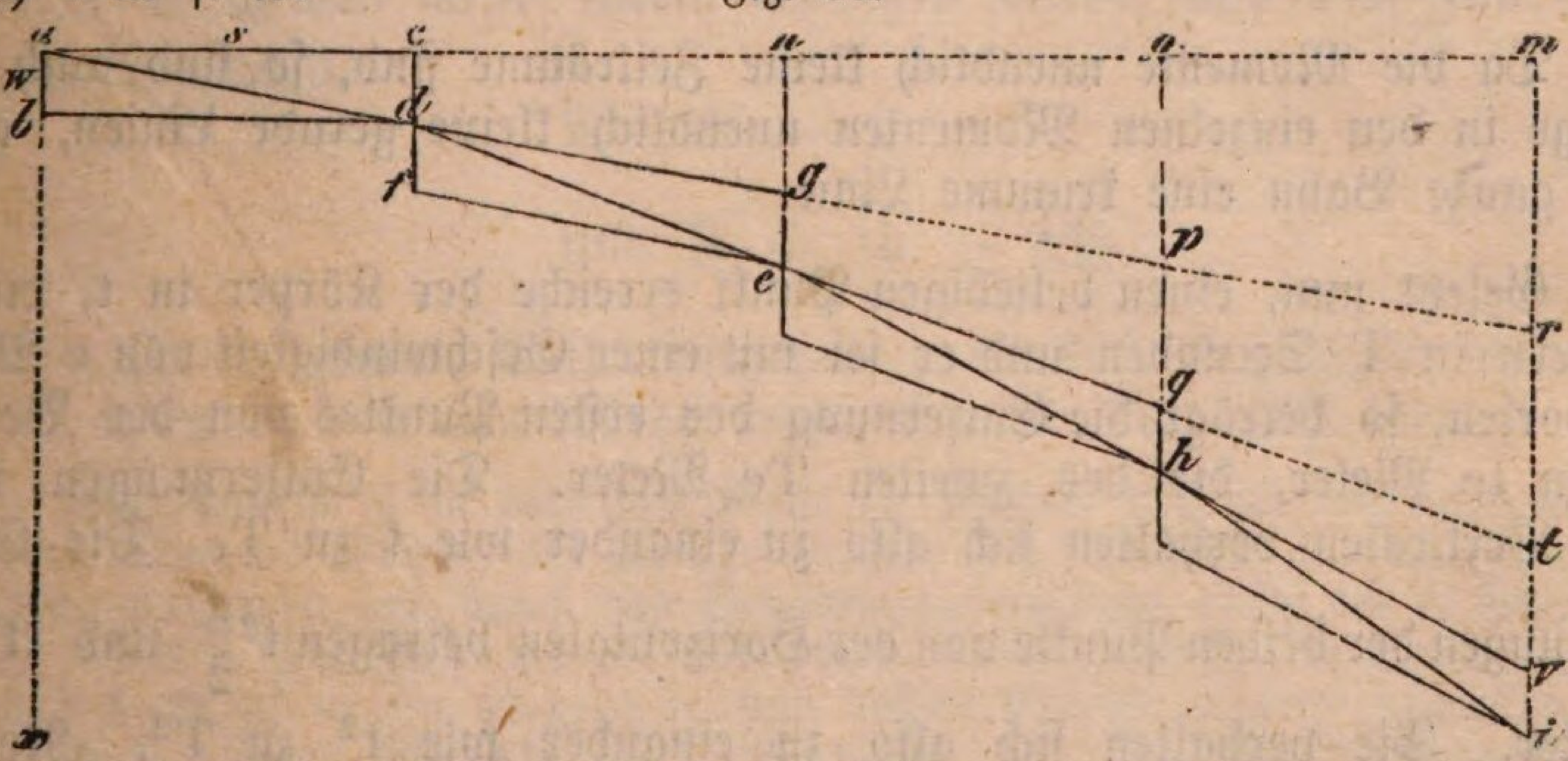
§ 35. Der horizontale Wurf.

Fig. 33.



allein ziehe ihn um das Stück ab = w abwärts, so gelangt er im ersten Momente von a nach d. Zöge ihn nun die Erde nicht weiter an, so würde er im zweiten Momente in dieser Richtung um dasselbe Stück weiter gehen, nämlich von d nach g. Da ihn die Erde aber wieder um das Stück df = w nach unten zieht, so wird er von d nach e gelangen, ebenso im 3. Momente von e nach h, im 4. von h nach i u. s. w.

Fig. 34.



Untersucht man aber, wie weit der Körper sich in den einzelnen Momenten von der Horizontalen am und der Verticalen ax entfernt hat (Fig. 34), d. h. wie weit die Punkte d, e, h, i von am und ax entfernt sind, so findet man: Der Körper entfernt sich

Bestimmung einzelner Punkte der Wurfbahn.

1) von der Linie ax in jedem Momente um das Stück ac, d. i. s,
2) von der Linie am im 1. Momente w Meter,

im 2.	„	2w	„
im 3.	„	3w	„
im 4.	„	4w	„

Beweis: $dg = ad$, also $cn = ac = s$;
ferner $eq = ed$, folglich $pg = gd = da$, und
also $on = nc = ca$ u. s. w.
Ferner $cd = ab = w$,
$en = eg + gn = w + 2w = 3w$,
$ho = qh + pq + po = w + 2w + 3w = 6w$ u. s. w.

Befindet sich nun der Körper in einem Momente w Meter und in zwei Momenten 3w Meter unter der Horizontalen, so ist er im zweiten Momente 2w Meter tiefer gesunken u. s. w.

Die Reihe w, 2w, 3w . . . ist aber dieselbe, wie die für den freifallenden Körper, ihre Summe für t Secunden war aber $t^2\frac{g}{2}$.

Hieraus folgt:

Ein horizontal geworfener Körper entfernt sich in t Secunden in horizontaler Richtung so weit von seinem Ausgangspunkte, als ob ihn die Wurfkraft allein triebe, sinkt aber dabei so tief unter seine ursprüngliche Höhe, als ob er der Erdanziehung allein folgte,

d. i. $E = tc$

und $F = t^2\frac{g}{2}$.

wo E die horizontale Entfernung, c die Geschwindigkeit, mit der der Körper geworfen wird, F die Tiefe unter der Horizontalen, g die Beschleunigung des freien Falles bedeutet.

Die Wurfbahn ist eine Parabel.

Da die Momente unendlich kleine Zeiträume sind, so sind auch die Wege in den einzelnen Momenten unendlich kleine gerade Linien, also die ganze Bahn eine krumme Linie.

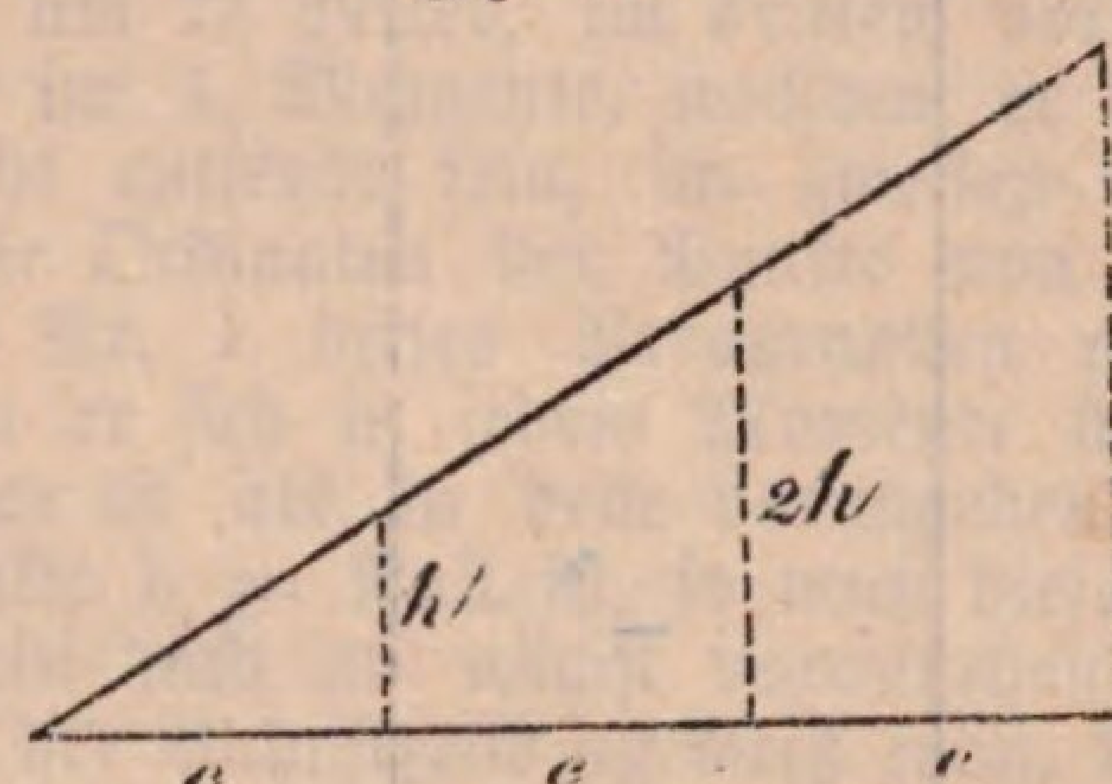
Gesetzt nun, einen beliebigen Punkt erreiche der Körper in t, einen andern in T Secunden und er sei mit einer Geschwindigkeit von c Mtr. geworfen, so beträgt die Entfernung des ersten Punktes von der Verticalen tc Meter, die des zweiten Tc Meter. Die Entfernungen von der Verticalen verhalten sich also zu einander wie t zu T. Die Entfernungen der beiden Punkte von der Horizontalen betragen $t^2\frac{g}{2}$ und $T^2\frac{g}{2}$ Meter. Sie verhalten sich also zu einander wie t^2 zu T^2. Nennt man nun die Entfernung von der horizontalen Linie die Abscissen und die von der verticalen Linie die Ordinaten der beiden Punkte, so verhalten sich die Abscissen der beiden Punkte, wie die Quadrate ihrer Ordinaten.

Die Bahn eines horizontal geworfenen Körpers ist demnach eine krumme Linie, in welcher sich die Abscissen je zweier Punkte zu einander verhalten, wie die Quadrate ihrer Ordinaten, d. i. eine Parabel. Ihr Scheitelpunkt ist der Ausgangspunkt des Körpers.

Wie weit fliegt ein horizontal geworfener Körper, ehe er zur Erde kommt, wenn er mit einer Geschwindigkeit von 300 Meter geworfen wird, und die Höhe seines Ausgangspunktes 3 Meter beträgt?

§ 36. Der schiefe Wurf. Wir wollen auch hier wieder den Körper erst von dem Augenblicke an verfolgen, wo die Wurfkraft auf ihn zu wirken aufhört. Würde ein schief in die Höhe geworfener Körper nicht von der Erde angezogen und es wäre nach einer Secunde seine horizontale Entfernung vom Ausgangspunkte = c Mtr. (Fig. 35), seine Höhe über demselben = h Meter, so wäre nach t Secunden die erstere = tc Meter, die letztere = th Meter. § 36. Der schiefe Wurf.

Fig. 35.



Ist leicht zu beweisen.

Da aber die Erde ihn anzieht, so findet folgendes Gesetz statt:

1) Der schief in die Höhe geworfene Körper gelangt in t Secunden in horizontaler Richtung so weit von seinem Ausgangspunkte, als ob ihn die Wurfkraft allein triebe und seine Höhe über dem Ausgangspunkte ist gleich der Differenz zwischen der Höhe, die er durch den Wurf allein erreichen würde, und dem Fallraume in t Secunden,

$$\text{d. i. } E = ts$$

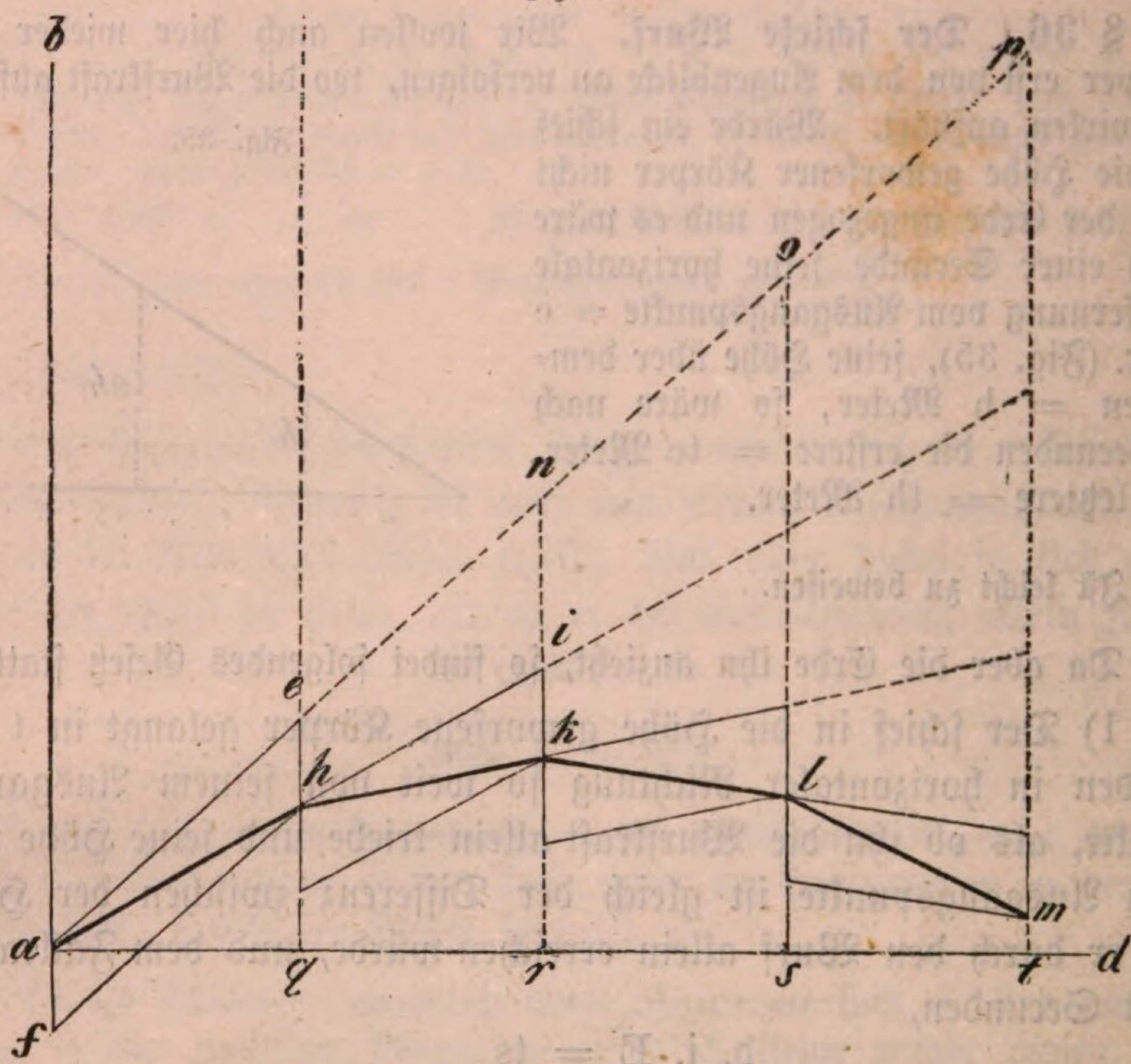
$$\text{und } H = th - t^2\frac{g}{2},$$

wo s die horizontale Entfernung und h die Höhe bezeichnet, die er in einer Secunde erreichen würde, wenn ihn die Erde nicht anzöge.

Der Beweis ist in derselben Weise zu führen, wie für den horizontalen Wurf, nämlich: Gesetzt, der Körper bewege sich, nachdem die Wurfkraft zu wirken aufgehört hat, durch das Beharrungsvermögen allein im 1. Momente von a bis e (Fig. 36), und die Erdschwere allein ziehe ihn in dieser Zeit von a bis f (af sei = w), so geht er, von beiden Kräften zugleich getrieben, von a nach h. Dann würde er im 2. Momente durch das Beharrungsvermögen um dasselbe Stück in derselben Richtung, also bis i getrieben werden; da ihn aber die Erdschwere wieder um w anzieht, so geht er von h bis k, im 3. bis l, im 4. bis m und so fort. Mache die in Fig. 35 angedeuteten Constructionen; dann ist zu beweisen, daß ae = en = no = op. Daraus folgt, daß e, n, o, p die Punkte sind, welche der Körper in den einzelnen Momenten erreichen würde, wenn ihn die Wurfkraft allein triebe. Dann folgt ferner, daß aq = qr = rs = st ist. Das sind aber die Entfernungen von der Verticalen ab sowohl für die Punkte e, n, o, p, wie für die Punkte h, k, l, m, und somit ist der erste Theil des Gesetzes bewiesen. Dann ist zu beweisen, daß eh = w, kn = 3w, lo = 6w und mp = 10w. Diese Längen sind aber diejenigen, um welche der Körper tiefer liegt, als die Punkte, bis

zu welchen ihn der Wurf allein getrieben haben würde; es sind aber auch die Höhen, welche ein freifallender Körper in ein, zwei, drei, vier u. s. w. Momenten fällt. Somit ist auch der zweite Theil des Gesetzes bewiesen.

Fig. 36.



Wird nun ein Körper mit c Meter Geschwindigkeit unter einem Elevationswinkel von α^0 geworfen, so ist $s = c \cos \alpha$ und $h = c \sin \alpha$. Diese Werthe in die obigen Formeln gesetzt, giebt:

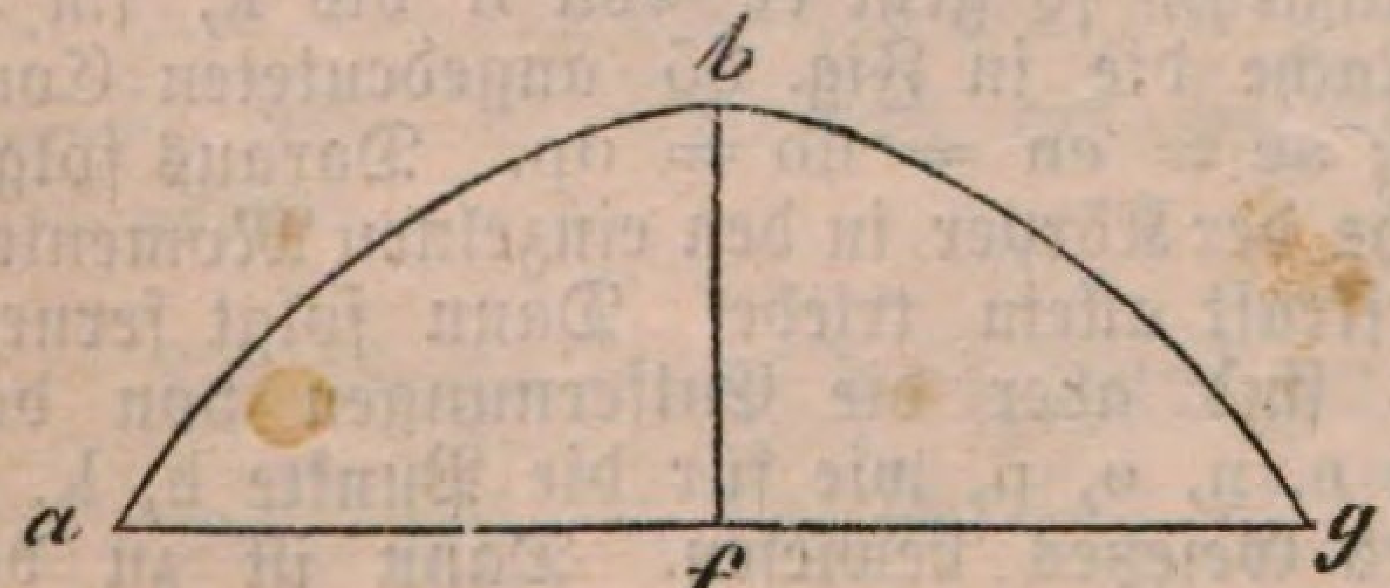
$$E = tc \cos \alpha$$

$$\text{und } H = tc \sin \alpha - t^2 \frac{g}{2}.$$

Die Wurfbahn ist eine Parabel.

2) Die Bahn des schief in die Höhe geworfenen Körpers ist eine Parabel, deren Scheitelpunkt im höchsten Punkte der Wurfbahn liegt.

Fig. 37.



Beweis. Es ist klar, daß, wenn ein schief in die Höhe geworfener Körper seinen höchsten Punkt erreicht hat, er sich einen Moment in horizontaler Richtung bewegen muß. Von hier aus muß seine Bahn ganz dieselbe sein, wie die eines horizontal geworfenen Körpers: denn das Beharrungsvermögen vertritt hier die Stelle der horizontalen Wurfkraft. Ist also abg (Fig. 37) die Wurfbahn, a der Ausgangspunkt, b der höchste Punkt, so muß bg ein Parabelast sein.

Es läßt sich nun auch beweisen, daß ab der zu bg gehörige andere Parabelast ist, daß nämlich jeder Punkt der Linie ab einen entsprechenden in bg hat, dessen Coordinaten den seinigen (absolut genommen) gleich sind: Ist der Körper in der Weise geworfen, daß er sich im ersten Momente in horizontaler Richtung s Meter von seinem Ausgangspunkte entfernt, so muß er sich, wie aus Nr. 1 dieses Paragraphen hervorgeht, auch in jedem folgenden Momente um s Meter von a entfernen. Der Körper muß also im letzten Momente, bevor er den Punkt b erreicht, s Meter von der Verticalen bf entfernt sein, im zweiten Momente vorher um 2s Meter, im dritten vorher um 3s Meter u. s. w., und ebenso muß er im 1. Momente, nachdem er den Punkt b erreicht hat, um s Meter von bf entfernt sein, im zweiten um 2s Meter u. s. w. Hieraus folgt, daß die Ordinaten der Punkte von bg gleich denen von ab sind. Ferner: Aus Nr. 1 dieses Paragraphen geht außerdem hervor, daß die Höhe, um welche er sich in jedem Momente über die Horizontale erhebt, um w Meter kleiner ist als in dem vorangehenden Momente. Da nun die Erhebung im Punkte b = Null ist, so muß dieselbe im vorangehenden = w Meter gewesen sein und im nächst vorangehenden 2w Meter, dann 3w Meter u. s. w. Von der Bahnstrecke bg weiß man, daß der Körper im ersten Momente w Meter tiefer sinkt, im zweiten 2w, im dritten 3w u. s. w. Hieraus geht hervor, daß auch die Abscissen der Punkte von bg gleich denen von ab sind.

Wozu dient das Visir auf der Büchse, der Kanone? Warum muß das Visir erhöht werden, wenn man auf einen entfernteren Gegenstand schießen will? Warum braucht man bei geringeren Entfernungen gar kein Visir? Warum braucht eine Flinte, aus der man nur Schrot schießt, kein Visir? Warum zerstreuen sich die Schrotkörner?

Aufgaben für den schiefen Wurf.

Aufgaben: 1) Ein Körper wird mit einer Geschwindigkeit von c Meter und unter einem Winkel von α^0 in die Höhe geworfen; in welcher Zeit erreicht er eine Höhe von h Meter und wie weit ist er dann von der Verticalen entfernt, welche durch seinen Ausgangspunkt gelegt ist? — Bilde Aufgaben, in denen c oder α die zu findende Größe ist. Bilde solche Aufgaben in bestimmten Zahlen.

2) Ein Körper wird mit einer Geschwindigkeit von c Meter und unter einem Winkel von α^0 in die Höhe geworfen; wie hoch liegt der höchste Punkt, den er überhaupt erreicht, und wie weit vom Ausgangspunkte kommt der Körper wieder zur Erde? Bilde Aufgaben, in welchen c oder α zu finden ist.

Aus den in den letzten 3 Paragraphen entwickelten Formeln ersieht man, daß die Ergebnisse der beiden zusammenwirkenden Kräfte, nämlich der Wurfkraft und der Erdanziehung, gerade dieselben sind, als ob die beiden Kräfte nach einander gewirkt hätten. Es ist überhaupt ein allgemeines Naturgesetz: Wirken zwei Kräfte zugleich auf einen Körper, so ist das Resultat ihrer Wirkung in jeder beliebigen Zeit dasselbe, als ob sie nach einander gewirkt hätten. (Siehe die Gesetze über zwei zugleich auf einen Körper wirkende Kräfte. § 18.)

Das Pendel.

Das Pendel.

Erklärung. Ein an einer Schnur oder einem Stabe aufgehängter Körper, der sich ohne merkliche Hindernisse um seinen Aufhängepunkt drehen läßt, heißt ein **Pendel**.

Die Untersuchung der Pendelgesetze wird dadurch erleichtert, daß man die Schnur oder den Stab als eine schwerlose Linie, den Körper als einen schweren Punkt betrachtet (physisches oder zusammengesetztes, mathematisches oder einfaches Pendel). Eine ganz kleine, schwere Kugel an einem dünnen Faden unterscheidet sich in ihrer Bewegung unmerklich von einem einfachen Pendel. Ein solches ist bei allen folgenden Untersuchungen gemeint.

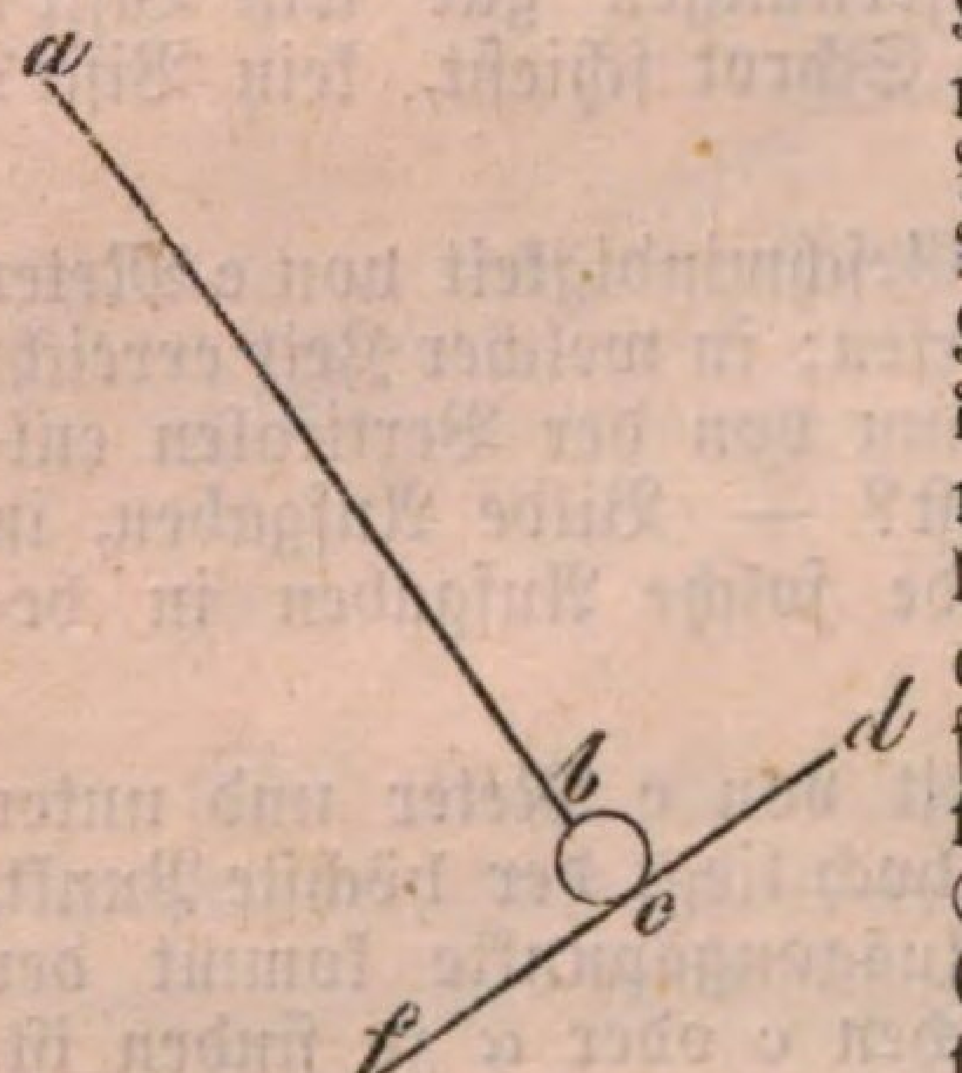
§ 37. Art der Pendelbewegung.

§ 37. 1) Das Pendel steht nur in verticaler Richtung in Ruhe.

2) Wird es um einen beliebigen Bogen von der verticalen Richtung abgelenkt, so bewegt es sich mit beschleunigter Geschwindigkeit in dieselbe zurück und dann mit verzögerter Geschwindigkeit um denselben Bogen in derselben Zeit darüber hinaus; von da geht es wieder zurück u. s. w. fort.

(Fände keine Reibung und kein Luftwiderstand statt, so würde die Bewegung nie aufhören.)

Fig. 38.



ab (Fig. 38) sei der Faden, an welchem der Körper bc hängt. Die Wirkung einer Kraft bleibt unverändert, wenn der Angriffspunkt in verschiedene Punkte ihrer Richtung versetzt wird (s. § 25). Die Wirkung der Kraft, mit welcher der Faden den Körper hält, bleibt also unverändert, wenn man den Angriffspunkt von b nach c versetzt, oder wenn man annimmt, der Körper ruhe in dem Augenblicke, in welchem der Faden die Richtung ab hat, auf der schiefen Ebene df, welche senkrecht auf ac steht. So kann man für alle verschiedenen Richtungen des Pendels, welche er während seiner Schwingung hat, annehmen, er ruhe auf einer Ebene, welche senkrecht auf der jedesmaligen Richtung des Fadens steht, oder was dasselbe ist, er falle auf unendlich vielen, unendlich kleinen schiefen Ebenen herab, welche die Mantelfläche eines Cylinders bilden, in dessen Achse der Punkt a liegt.

Fig. 39.



Da nun der Pendelkörper auf schiefen Ebenen herabfällt, bis der Faden in die verticale Lage kommt, so muß bis dahin seine Bewegung eine beschleunigte sein; von da wird er durch das Beharrungsvermögen auf schiefen Ebenen hinauf getrieben; also muß seine Bewegung eine verzögerte werden.

Da die erste Ebene a (Fig. 39) auf der einen Seite der Verticalen dieselbe Neigung hat, wie die erste auf der andern Seite a', die zweite b dieselbe Neigung wie b', die dritte c dieselbe Neigung wie c' u. s. w., so muß er auf Ebene a' ebensoviel an Geschwindigkeit verlieren, als er auf der Ebene a gewonnen hat, auf der Ebene b' so viel verlieren, als er auf der Ebene b gewonnen hat u. s. w.

Hieraus geht hervor, daß der Pendelkörper, um alle Geschwindigkeit wieder zu verlieren, welche er beim Herabfallen gewonnen hat, eben so viele

schiefe Ebenen in die Höhe steigen muß, als er herabgefallen ist, daß also der Bogen, welchen er beim Hinaufsteigen durchläuft, eben so groß ist, als der Bogen, den er beim Herabfallen beschreibt; ferner, daß das Aufsteigen eben so lange dauert, als das Herabfallen, und endlich, daß er beim Aufsteigen in jeder Höhe dieselbe Geschwindigkeit hat, als er in derselben Höhe beim Herabfallen hatte.

Erklärung. Der Winkel, den das Pendel in seiner höchsten Lage mit der Verticalen macht, heißt Ausschlagswinkel, die Bewegung vom höchsten Punkte bis wieder zum höchsten Punkte eine Schwingung (Oscillation), die Zeit, welche es dazu gebraucht, Schwingungszeit.

§ 38. 1) Die Schwingungszeit des Pendels ist unabhängig von der Materie und der Masse des Pendelkörpers.

§ 38. Die Schwingungszeit ist unabhängig 1) von der Masse des Pendelkörpers; 2) von dem Ausschlagswinkel.

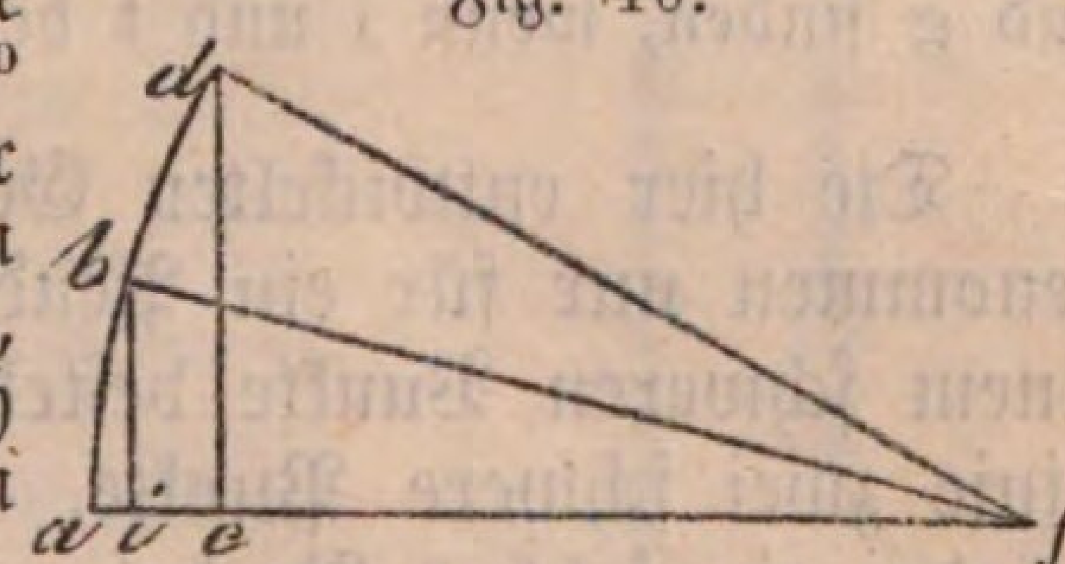
Denn alle Materien und alle Massen fallen auf denselben schiefen Ebenen gleich schnell.

2) Die Schwingungszeit ein und desselben Pendels kann für alle Ausschlagswinkel, von 0 bis etwa 4—5 Grad, als gleich angenommen werden.

Um den Satz zu beweisen, sind folgende 2 Hilfssätze vorauszuschicken:

1) Auf schiefen Ebenen, deren Neigungswinkel 4—5 Grad nicht übersteigen, verhalten sich die Fallräume gleicher Zeiten wie die Neigungswinkel.

Fig. 40.



Gesetzt, bf und df (Fig. 40) sind zwei schiefe Ebenen, deren Neigungswinkel höchstens 4—5° betragen, so kann man ohne merklichen Fehler Bogen ad = dem Lothe dc, und ebenso Bogen ab = Loth bi setzen. Ist nun $\angle$ dfa = n . bfa, so ist auch Bogen da = n . ba und also auch Loth dc = n . bi. Der Fallraum in t Secunden auf der Ebene df $= \frac{dc}{df} \cdot t^2 \frac{g}{2}$, auf der Ebene bf $= \frac{bi}{bf} \cdot t^2 \frac{g}{2}$. Da nun dc = n . bi, und df = bf, so ist der Fallraum auf df nmal so groß, als der auf der bf.

Fig. 41.

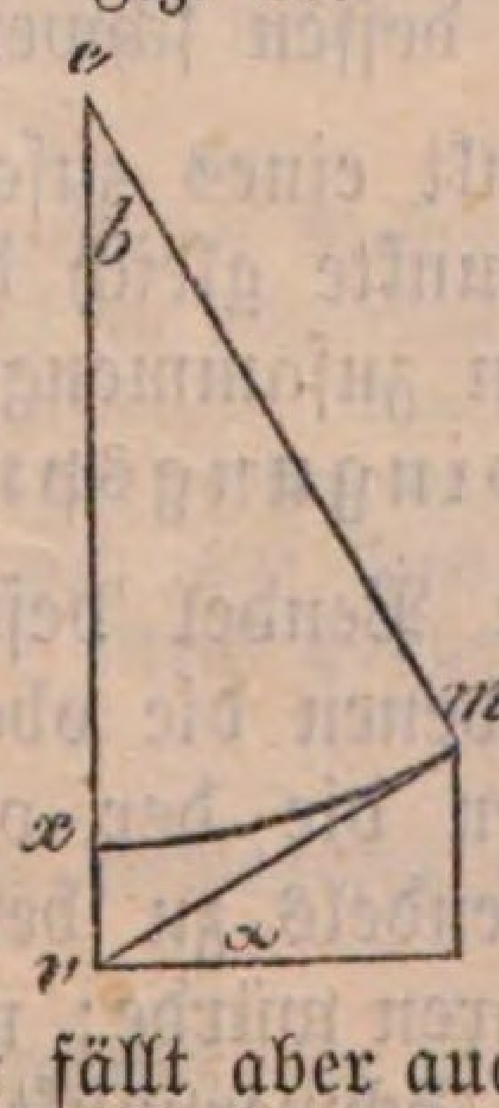


Fig. 42.



2) Bei jeder Stellung des Pendels ist der Ausschlagswinkel gleich dem Neigungswinkel der schiefen Ebene, auf welcher der Pendelkörper bei dieser Stellung ruht.

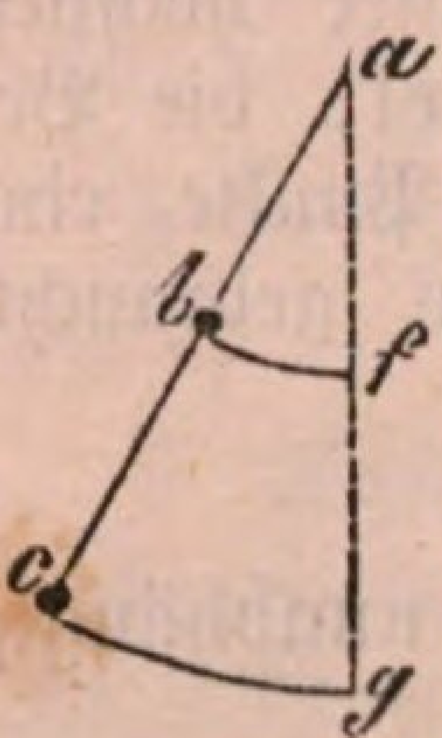
Denn es sei (Fig. 41) cx eine Verticale, cm eine beliebige Lage des Pendels. In dieser ruht der Körper auf der schiefen Ebene mv, und es ist leicht zu beweisen, daß $\angle \alpha = \angle$ b ist.

Sind nun (Fig. 42) bf und bc zwei gleich lange Pendel und der Ausschlagswinkel abc = n . abf, so hat der Pendelkörper c einen nmal so großen Weg bis zur Verticalen ab zu durchlaufen, als der Pendelkörper f, er fällt aber auch nmal so schnell als f, also ist die Schwingungszeit für beide Pendel gleich.

§ 39. Die Schwingungszeit ändert sich: mit der Pendellänge,

§ 39. 1) Die Schwingungszeit verändert sich mit der Länge des Pendels, und zwar wird die Schwingungszeit $\sqrt{n}$ mal so groß, wenn die Länge n mal so groß wird.

Fig. 43.



Beweis: Gesetzt, die Pendellänge ac (Fig. 43) ist nmal so groß, als die Pendellänge ab, so ist Bogen cg auch nmal so groß, als Bogen bf. Folglich hat der Pendelkörper c einen nmal so großen Weg zurückzulegen, als b. Die kleinen schiefen Ebenen, aus denen der Bogen bf besteht, haben dieselbe Neigung, als die Ebenen des Bogens cg. b fällt also auf schiefen Ebenen, welche dieselbe Neigung haben, als die, auf welchen c fällt, aber jede der letzteren ist nmal so groß, als jede der ersteren. Damit aber ein Körper einen nmal so großen Raum durchfällt, ist $\sqrt{n}$ mal so viel Zeit nöthig (s. § 33 Nr. 3). Folglich braucht c $\sqrt{n}$ mal so viel Zeit, um den Bogen cg zurückzulegen, als b, um bis f zu gelangen.

mit der Stärke der Anziehung.

2) Die Schwingungszeit richtet sich nach der Stärke der Anziehung und zwar ist

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

wo t die Schwingungszeit, l die Pendellänge und g die Beschleunigung des freien Falles bezeichnet.

Mittelst dieser Formel läßt sich auch l finden, wenn t und g bekannt, und g finden, wenn l und t bekannt sind. Was heißt das in Worten?

Schwingungspunkt.

Die hier entwickelten Gesetze gelten, wie schon angeführt, streng genommen nur für ein Pendel, das aus einer schwerlosen Linie mit einem schweren Punkte besteht. Befänden sich aber an einer solchen Linie zwei schwere Punkte, etwa (Fig. 43) die Punkte b und c, so würde ein solches Pendel, welches nun ein zusammengesetztes wäre, langsamer schwingen, als ein einfaches, dessen Länge gleich ab, und schneller als ein solches von der Länge ac, weil der Punkt b die Bewegung des Punktes c beschleunigte, und dieser die von b verzögerte. Seine Schwingungszeit würde demnach so groß sein, als die eines einfachen Pendels, dessen schwerer Punkt zwischen b und c läge.

Diesen Punkt eines zusammengesetzten Pendels, dessen Entfernung vom Aufhängepunkte gleich der Länge desjenigen einfachen Pendels ist, welches mit dem zusammengesetzten gleiche Schwingungszeit hat, nennt man den **Schwingungspunkt**.

Alle unsere Pendel bestehen nun aus unendlich vielen schweren Theilchen, von denen die oberen die Bewegung der unteren beschleunigen, die unteren die der oberen verzögern. Den Schwingungspunkt eines solchen Pendels zu bestimmen, ist eine Aufgabe, deren Lösung uns zu weit führen würde; nur das sei bemerkt, daß der Schwingungspunkt nicht der Schwerpunkt ist.

Bei einem Pendel, welches aus einem dünnen Faden und einer kleinen schweren Kugel besteht, liegt der Schwingungspunkt unmerklich wenig unter dem Schwerpunkte. Vermittelst eines solchen läßt sich der Schwingungspunkt jedes andern Pendels praktisch finden.

Auf welche Weise?

Anwendung des Pendels.

§ 40. 1) Da die Schwingungen desselben Pendels von gleicher Dauer sind, so wird es zur Zeitmessung benutzt. § 40. Zeitmessung durch das Pendel.

Fig. 44.



Die Pendeluhr. Das gezähnte Rad A (Fig. 44) wird mit seiner Welle durch ein größeres und ein kleineres Gewicht in Bewegung gesetzt, welche an einer um die Welle geschlungenen Schnur hängen. Der Körper ab wird durch das Pendel so in Bewegung gesetzt, daß bei jeder Schwingung die beiden Enden a und b abwechselnd in den folgenden Zahn des Rades eingreifen, so daß das Rad bei je 2 Schwingungen des Pendels um einen Zahn weiter rückt. Hat also das Rad 30 Zähne und ist das Pendel ein Secundenpendel, so ist der an der Stirn der Welle angebrachte Zeiger ein Secundenzeiger. Setzt nun die Welle des Rades A ein zweites Wellrad so in Bewegung, daß dieses sich ein Mal herumdreht, wenn jenes sich 60mal herumgedreht hat, so ist der Zeiger, welcher an der Welle dieses zweiten Rades angebracht ist, ein Minutenzeiger. Eine dritte Welle, welche durch das zweite Rad so in Bewegung gesetzt wird, daß auf 12 Umdrehungen des zweiten eine Umdrehung des dritten kommt, trägt den Stundenzeiger. Wenn aber die Schnur, an welcher die Gewichte hängen, wie hier angegeben, um die Welle des ersten Rades gewunden wäre, so müßte sie sehr lang sein, wenn die Uhr 24 Stunden, ohne wieder aufgezogen zu werden, gehen sollte. Man schlingt sie daher um die Welle des letzten Rades, durch welches dann die übrigen Räder in Bewegung gesetzt werden. Ebenso ist durch besondere Vorrichtungen dafür gesorgt, daß sich alle 3 Zeiger in derselben Richtung herumbewegen und daß Stunden- und Minutenzeiger sich um eine gemeinschaftliche Achse drehen.

Während ein frei schwingendes Pendel wegen der Reibung am Aufhängepunkte und des Luftwiderstandes in kurzer Zeit zu schwingen aufhört, bleibt das Pendel an der Uhr, so lange das Gewicht nicht abgelaufen ist, in Bewegung, weil der Theil a, so oft er sich aus dem Zahne des Rades aushebt, von diesem einen kleinen Stoß erhält, der sich auf das mit ab in Verbindung stehende Pendel fortpflanzt, und der desto größer ist, je schwerer das Gewicht.

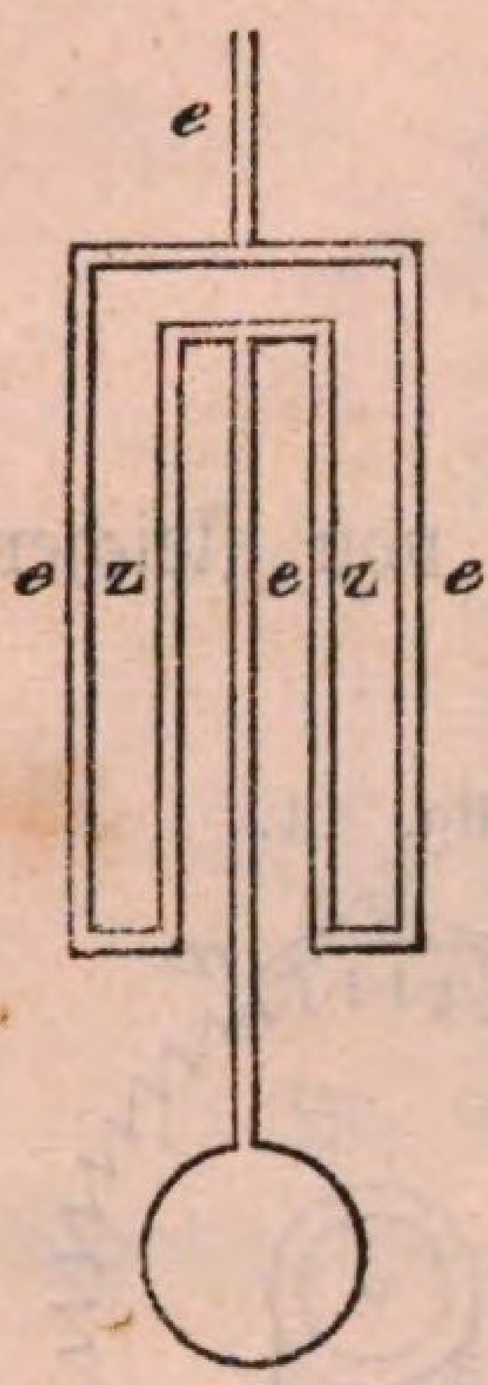
Durch das Gewicht wird also die Uhr in Bewegung gesetzt, durch das Pendel die Bewegung geregelt.

Was hat man zu thun, wenn eine Pendeluhr zu rasch oder zu langsam geht?

Compensationspendel.

Die durch die Verschiedenheit der Temperatur hervorgebrachte Verkürzung oder Verlängerung des Pendels an Uhren wird durch eine Einrichtung des Pendels beseitigt, wie sie Figur 45 zeigt. Die mit e bezeichneten Stäbe bestehen aus einerlei Metall, die mit z bezeichneten aus einem andern Metall, welches sich bei derselben Wärmezunahme mehr ausdehnt, als das erstere, und zwar um so viel mehr, daß die Pendel-Linse durch die Ausdehnung der Stäbe z so viel gehoben wird, als sie durch die Ausdehnung der Stäbe e sinkt, so daß also die Länge des Pendels stets unverändert bleibt. — Compensations-Pendel.

Fig. 45.



2) Durch das Pendel läßt sich noch besser als durch den freien Fall nachweisen, daß alle Körper gleich schnell fallen.

Bestätigung des Newton-schen Gravitations-gesetzes.

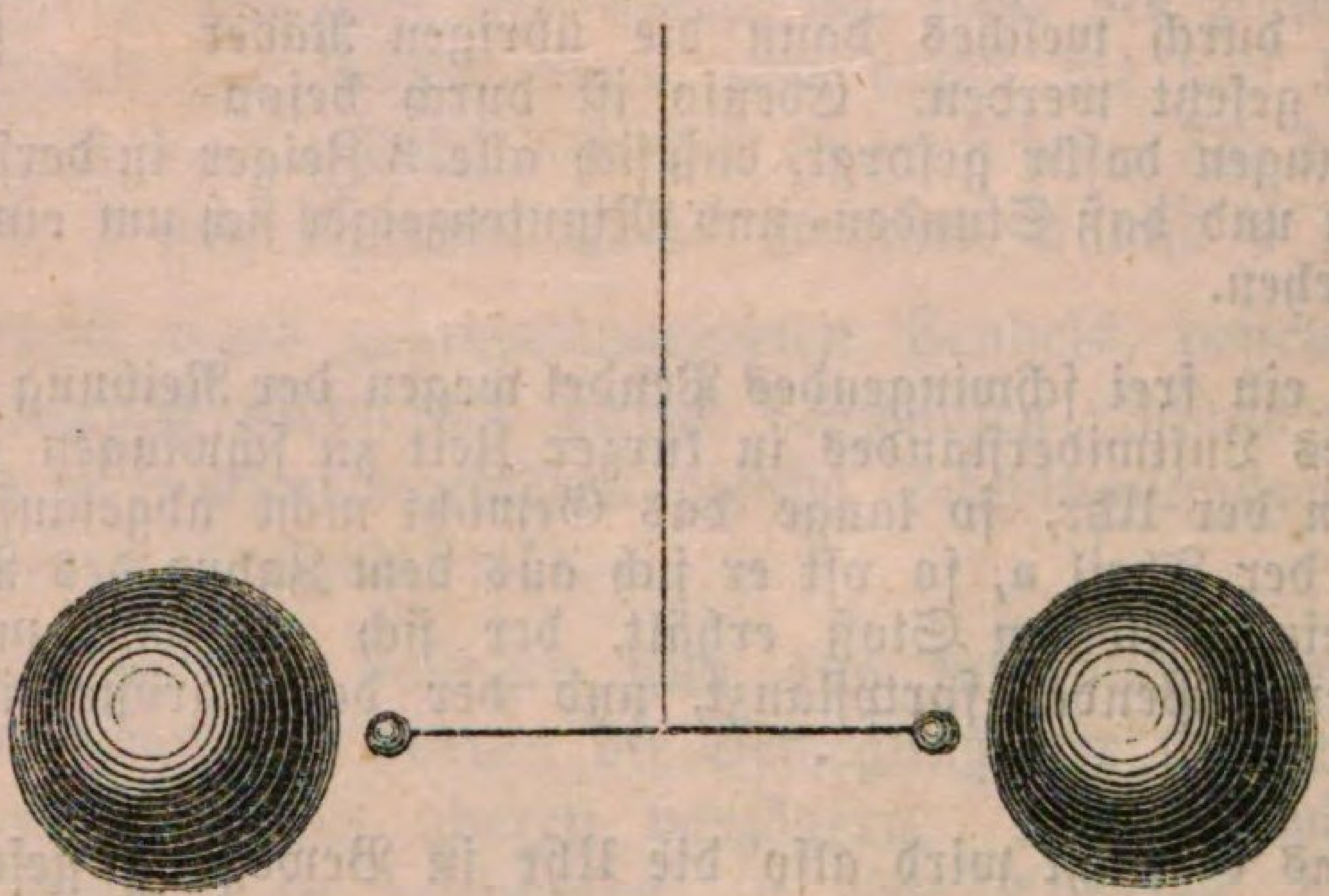
3) Vermittelst einer von Cavendish construirten Pendelvorrichtung läßt sich die Richtigkeit des von Newton 1680 als Hypothese aufgestellten Gravitations-Gesetzes nachweisen:

Jeder Körper zieht andere Körper an; diese Anziehung (Gravitation, Größe der Beschleunigung) ist bei einem Körper von m Kilogr. Masse m mal so groß, als die eines Körpers von 1 Kilogr. Masse und wirkt in einer Entfernung von e Meter e^2 mal so schwach, als in einer Entfernung von 1 Meter. (Unter Entfernung des Körpers von dem anzuziehenden ist die Entfernung ihrer Schwerpunkte zu verstehen.) Daher ist der Zahlenausdruck für die Gravitation:

$$g = \frac{m}{e^2}$$

Der Apparat von Cavendish besteht aus zwei Metallkugeln (Fig. 46), jede einige Centner schwer, zwischen denen ein horizontales Stäbchen mit zwei

Fig. 46.



kleinen Kugeln an einem langen dünnen Faden hängt. Das Stäbchen steht in Ruhe, wenn die Mittelpunkte der vier Kugeln in gerader Linie liegen; es macht Pendelschwingungen, wenn es aus dieser Lage gebracht wird. Aus der

Länge und der Schwingungszeit des Stäbchens läßt sich mittelst der Formel $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ die Anziehungsstärke der beiden Kugeln berechnen. Es ist nämlich $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Aendert man nun die Massen und die Entfernungen der beiden großen Kugeln von den kleineren, so findet man, daß sich damit die Stärke der Anziehung in dem oben angegebenen Verhältnisse ändert.

4) Mittelst des Pendelgesetzes und mit Hilfe des Apparates von Cavendish läßt sich die Masse der Erde bestimmen. Bestimmung der Masse des Erdkörpers;

Die Anziehungskraft der beiden Kugeln ist bekannt, nämlich $g = \frac{\pi^2 l}{t^2}$. Ebenso ist die Anziehungsstärke der Erde G bekannt (9,809 Meter). Nennt man also die Anziehungskraft der Erde A und die der Kugeln a, so ist

$$\frac{A}{a} = \frac{G}{\frac{\pi^2 l}{t^2}} = \frac{Gt^2}{\pi^2 l}.$$

Ist ferner die Entfernung der großen Kugel von der kleinen = e Meter, und ihre Masse = m Ctr., der Erdradius = E Meter und die Masse der Erde = x Ctr., so ist nach dem Gravitationsgesetze

$$\frac{A}{a} = \frac{\frac{x}{E^2}}{\frac{m}{e^2}} = \frac{xe^2}{mE^2}.$$

$$\text{Folglich ist } \frac{Gt^2}{\pi^2 l} = \frac{xe^2}{mE^2}.$$

In dieser Gleichung sind alle Größen bekannt, außer x, die Masse der Erde; folglich läßt sich diese finden.

Aufgabe: Wie groß ist die Masse der Erde, wenn jede der großen Kugeln = 170 Kilogr. und der Radius derselben = 2 Decimeter, ferner die Länge des Stäbchens = 1 Meter, die Schwingungszeit = 10 Minuten und der Erdradius = 860 Meilen?

Auf diese Weise hat man die Masse der Erde ungefähr = der von hunderttausend Trillionen Centner gefunden. Da man nun auch die Größe der Erde kennt, so läßt sich auch ihre durchschnittliche Dichtigkeit berechnen; sie beträgt 5,44. Die mittlere Dichtigkeit der uns bekannten obersten Erdrinde beträgt nach ungefährer Schätzung 1,6; folglich muß die Erde im Innern bei Weitem dichter sei, als an der Oberfläche, was für die Ansicht spricht, daß die Erde sich früher in flüssigem Zustande befunden habe, wobei die schwersten Bestandtheile nach unten gesunken sind.

5) Da man, wie wir bei der Centralbewegung sehen werden, aus der Umlaufszeit eines Planeten um die Sonne und seiner Entfernung von derselben ihre Anziehungsstärke berechnen kann, so läßt sich auch die Masse der Sonne berechnen. der Masse der Sonne;

Welches ist der Gedankengang dieser Rechnung?

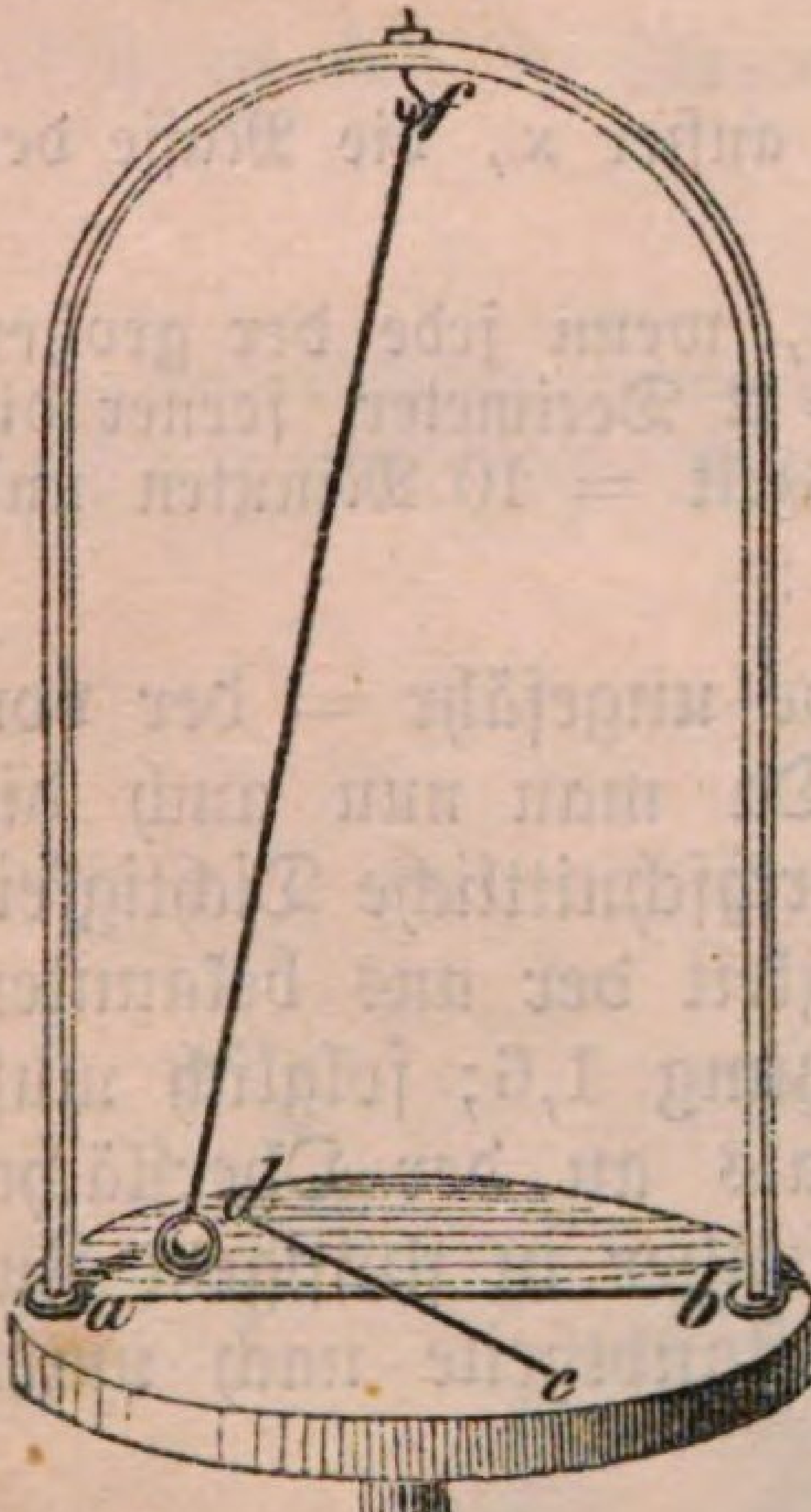
Ferner kann man aus ihrem scheinbaren Durchmesser und ihrer Entfernung ihr Volumen und daher ihre Dichtigkeit finden. Die Sonnenmasse = 350,000 mal so groß, als die der Erde. Ihr Radius = 112 Erdhalbmesser; ihr durchschnittliches specifisches Gewicht = $1\frac{1}{3}$.

Auf gleiche Weise läßt sich die Masse eines Planeten aus der Umlaufszeit und der Entfernung eines Trabanten desselben berechnen.

der Gestalt der Erde. 6) Vermittelst des Pendels ist man im Stande, die Gestalt der Erde zu bestimmen. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß dasselbe Pendel nicht an allen Orten der Erde gleich schnell schwingt. Daraus geht hervor, daß die Anziehung der Erde nicht an allen Orten gleich stark ist, und hieraus folgt wieder, daß man an dem einen Orte dem Mittelpunkte der Erde näher ist, als an dem andern. Da sich nun aus der Länge des Pendels und aus der Schwingungszeit die Stärke der Erdanziehung berechnen läßt, so kann man mittelst des Gravitations-Gesetzes finden, wie vielmal näher man dem Mittelpunkt an dem einen Orte ist, als an dem andern. Kennt man daher den Radius der Erde für den einen Ort, so kann man ihn auch für den andern berechnen.

Gesetzt, für den Ort A sei vermittelst des Pendels der Fallraum der ersten Secunde = 5 Meter, für den Ort B = 5,1 Meter gefunden und die Entfernung des Ortes A vom Mittelpunkte der Erde sei = 860 Meilen, die Entfernung des Ortes B = x Meilen, so ist $\frac{5,1}{5} = \frac{860^2}{x^2}$, woraus sich x ergiebt.

Fig. 47.



Bemerkungen. 1. Bei der angedeuteten Rechnung ist jedoch noch Rücksicht auf die durch die Achsendrehung der Erde erzeugte Centrifugalkraft zu nehmen, welche an verschiedenen Orten verschieden ist, und welche die Erdanziehung vermindert.

2. An mehreren Orten stimmt die durch das Pendel gefundene Länge des Erdradius nicht mit der durch astronomische Beobachtungen gefundenen ganz überein. Man schreibt diese Differenz den localen Verschiedenheiten des Bodens zu.

Der Erdradius am Aequator = 859,4 geographische Meilen, an den Polen = 856,6 geographische Meilen und eine geographische Meile = 7420 Meter. Die Länge des Secunden-Pendels für Paris ist 0,9938 Meter, also fast 1 Meter.

Der Foucault'sche Versuch. 7) Foucault hat in neuester Zeit in dem Pendel ein Mittel entdeckt, die Achsendrehung der Erde nachzuweisen. Es sei abcd (Fig. 47) eine kreisrunde Scheibe, welche sich auf eine Schwungmaschine stecken und vermittelst dieser um ihre Achse drehen läßt, afb ein Metalldraht, an welchem vertical über dem Mittelpunkte der Scheibe ein Faden mit einer Bleikugel be-

festigt ist. Läßt man dieses Pendel schwingen, so bleiben die Schwingungen immerfort in einer und derselben Ebene, nicht nur, wenn der Apparat in Ruhe steht, sondern auch, wenn er um seine Achse gedreht wird. Läßt man z. B. das Pendel zunächst über der Linie ab schwingen und dreht den Apparat 90° herum, so schwingt es nun über der Linie cd.

Hieraus folgt: Wenn man gerade über einem Pole der Erde ein Pendel aufhängen könnte, welches mehrere Stunden in Bewegung bliebe, und ein Beobachter stellte sich in die Schwingungsebene desselben, so würde derselbe wegen der Achsendrehung der Erde nach und nach aus dieser Ebene herauskommen und nach 6 Stunden senkrecht vor der Schwingungsebene stehen. Da wir aber auf der Erde deren Drehung nicht direct wahrnehmen, so würde es ihm scheinen, als habe sich die Schwingungs-Ebene des Pendels um 90°, also in einer Stunde um $\frac{90}{6}$, d. i. 15° gedreht. Dieselbe Erscheinung tritt nun auch an allen Orten der Erde zwischen den Polen und dem Aequator ein, nur daß hier die scheinbare Drehung der Schwingungs-Ebene in 6 Stunden nicht 90°, sondern sin B . 90° beträgt, wo B die geographische Breite des Ortes bezeichnet. Um die Richtigkeit dieses Gesetzes durch den Versuch nachzuweisen, ist es nöthig, als Pendel einen sehr langen Faden mit einer mehrere Pfund schweren Kugel zu nehmen, damit es hinreichend lange schwingt. Man befestigt daher gewöhnlich einen dünnen Metalldraht an der Decke eines hohen Gebäudes, etwa einer Kirche, und um die scheinbare Drehung der Schwingungs-Ebene genau beobachten zu können, versieht man die Kugel unten mit einer Spitze und läßt sie über einem großen getheilten Kreise schwingen.

Warum schwingt ein langes, schweres Pendel längere Zeit, als ein kurzes, leichtes?

Historisches. Das Gesetz der Gleichzeitigkeit der Pendelschwingungen wurde von Galiläi (1564—1642) entdeckt. Er soll, noch ein Knabe, in dem Dome zu Pisa durch die Schwingungen einer am Gewölbe hängenden Lampe auf dieses Gesetz geführt worden sein. Huyghens (1660) wandte das Pendel zur Zeitbestimmung an. Daß das Pendel nicht an allen Orten der Erde gleichschnell schwingt, fand der französische Astronom Richer. Als er nämlich im Jahre 1672 eine Reise nach Cayenne (5° nördlicher Breite machte, ging seine Pendeluhr täglich um 2½ Minute zu langsam. Er mußte daher das Pendel um 2,7 Millimeter verkürzen. Als er nach Paris zurückkam, ging die Uhr wieder um 2½ Minute zu schnell.

Centralbewegung.

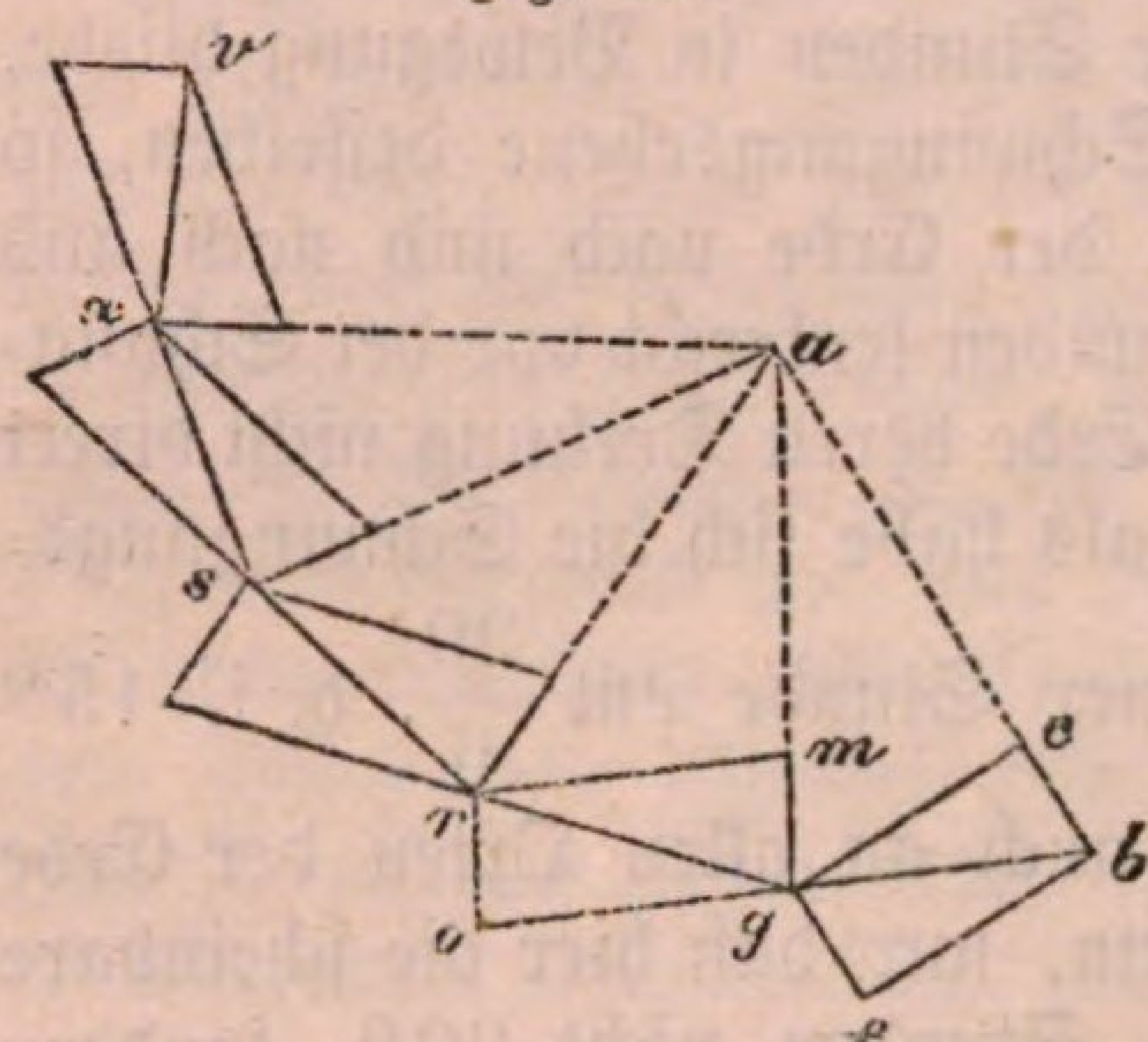
§ 41. Wird ein Körper an einer Schnur aufgehängt, die in einem ihrer Punkte befestigt ist, und ihm ein Stoß, etwa in horizontaler Richtung ertheilt, so würde er, wenn die Erde ihn nicht anzöge, auch kein Luftwiderstand und keine Reibung stattfände, sich ohne Aufhören um jenen festen Punkt herumbewegen.

§ 41. Entstehung der Central-bewegung.

Eine solche krummlinige Bewegung um einen Punkt herum entsteht jedesmal, so oft ein Körper einen momentanen Stoß erhält und dann durch eine stetig wirkende Kraft nach einem Punkte hingetrieben wird, der nicht in der Richtung des Stoßes liegt.

Denn gesetzt, ein Körper b (Fig. 48) erhalte einen momentanen Stoß, welcher ihn allein im ersten Momente von b bis f triebe, und er werde nun durch eine stetig wirkende Kraft immerfort nach dem Punkte a gezogen und zwar so, daß er, ihr allein folgend, im ersten Momente von b nach c gelangte, so bewegt er sich, von beiden zugleich getrieben, im ersten Momente von b nach g. Wegen des Beharrungsvermögens würde er im zweiten Momente von g nach o gehen; da ihn aber die stetige Kraft wieder nach a zieht, so geht er von g nach r u. s. w. Er durchläuft also den Weg bgrsxv, welcher, da bg, gr, rs, sx, xv u. s. w. unendlich klein sind, eine krumme Linie ist. Je nachdem nun die Größe und Richtung der beiden Kräfte verschieden sind, je nachdem wird auch die krumme Linie eine andere. Sie kann ein Kreis, eine Ellipse, eine Spirale und dergl. sein.

Fig. 48.



Erklärung. Jede solche Bewegung um einen Punkt herum heißt Centralbewegung, und dieser Punkt Mittelpunkt der Bewegung; die Kraft, welche den Körper nach dem Mittelpunkte zieht (den Faden hält), Centripetalkraft; die Kraft, mit welcher sich der Körper von dem Mittelpunkte zu entfernen strebt (den Faden spannt), Centrifugalkraft.

Bei einer kreisförmigen Centralbewegung heben sich Centripetal- und Centrifugalkraft gegenseitig auf, sind also gleich. Hört die Centripetalkraft plötzlich auf (reißt der Faden), so geht der Körper wegen des Beharrungsvermögens in der Richtung der Tangente seiner Bahn weiter. Seine Bewegungs-Quantität in diesem Falle heißt Tangentialkraft.

Jede Achsendrehung (Maschinenräder) ist eine Centralbewegung. Wenn die Erde die auf ihrer Oberfläche befindlichen Körper nicht anzöge, so würden diese durch die Achsendrehung von ihr fortgeschleudert werden, ja die ganze Masse der Erde würde sich stückweise im Weltall zerstreuen.

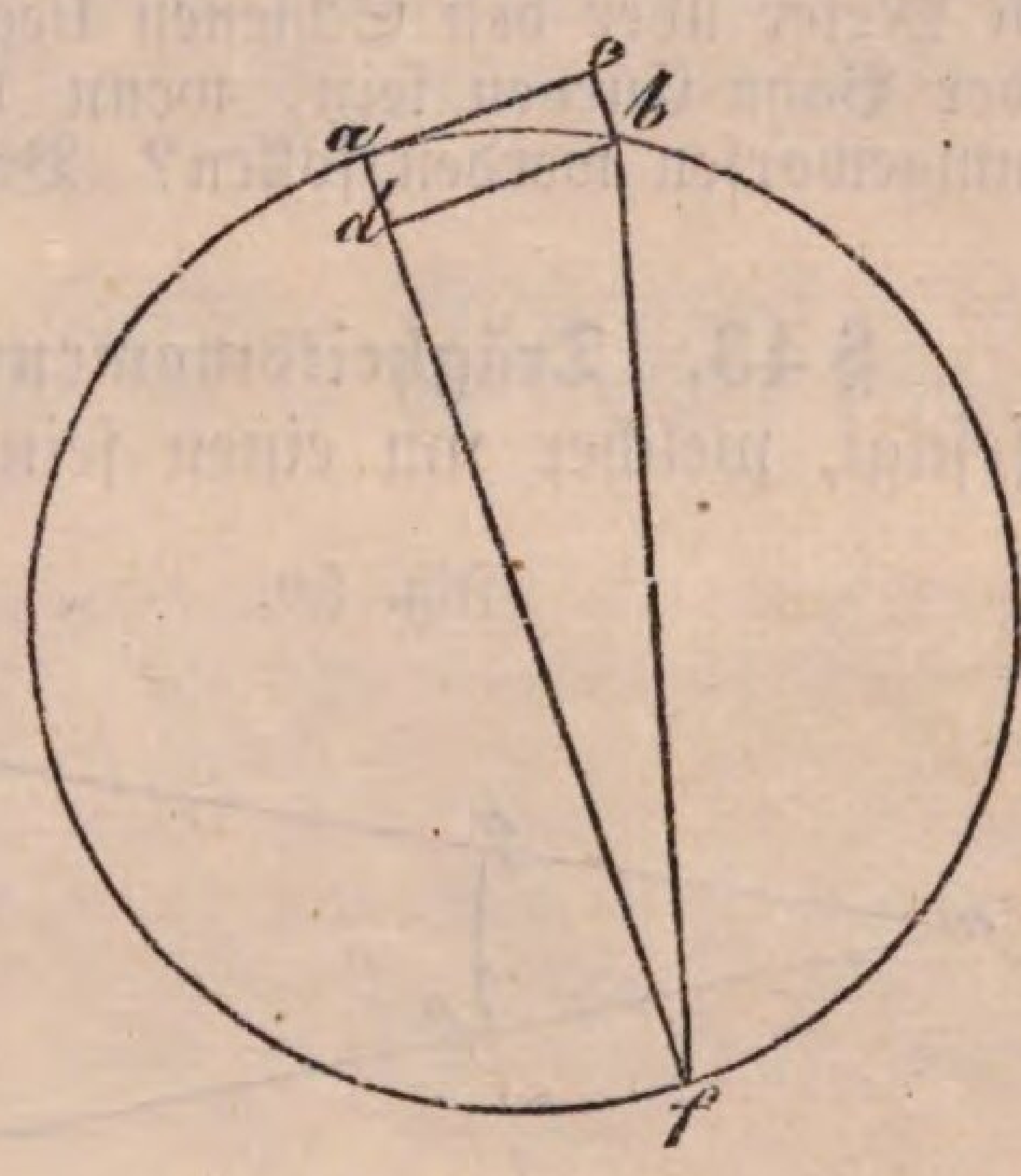
§ 42. Größe der Centripetal- und Centrifugalkraft.

§ 42. Schwingt man eine Bleikugel an einem Faden im Kreise herum, so muß man, um sie zu halten, desto mehr Kraft anwenden, je mehr Masse die Kugel hat, je länger der Faden ist und je schneller sie sich bewegt. Die Centripetalkraft (und also auch die Centrifugalkraft) ist demnach abhängig: 1) von der Masse des bewegten Körpers, 2) von seiner Umlaufszeit und 3) von dem Radius seiner Bahn. Ist nämlich die Bewegung kreisförmig, der Radius der Bahn = r Meter und die Umlaufszeit = t Secunden, so würde der bewegte Körper,

wenn die Centripetalkraft allein auf ihn wirkte, in einer Secunde $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$ Meter nach dem Mittelpunkte hin gehen.

Beweis. Gesetzt, der Körper bewege sich in einer Secunde von a nach b (Fig. 49) und dieser Bogen sei im Vergleich zur ganzen Peripherie so klein, daß er als gerade Linie angenommen werden kann, so ist derselbe der Weg, den ihn die Resultirende aus der Tangentialkraft und der Centripetalkraft in einer Secunde treibt, ac und ad sind die Wege in einer Secunde für diese beiden Kräfte. ad läßt sich aus der Umlaufszeit und dem Radius der Bahn berechnen. Nämlich: abf ist ein rechtwinkliges Dreieck und bd ist senkrecht auf af,

Fig. 49.



daher ist $\frac{ad}{ab} = \frac{ab}{af}$,

also $ad = \frac{ab^2}{af}$.

Ist nun die Umlaufszeit = t Secunden, der Radius der Bahn = r Meter, so ist $ab = \frac{2\pi r}{t}$, $af = 2r$, folglich

$$ad = \frac{4\pi^2 r^2}{t^2 2r} = \frac{2\pi^2 r}{t^2}.$$

Da nun die Centripetalkraft eine continuirlich wirkende Kraft ist, so ist ihre Beschleunigung $= 2ad = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, d. i.

$$P = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$$

und also die Größe der Centripetalkraft, wenn wir die Masse des Körpers m nennen, $= \frac{4\pi^2 rm}{t^2}$.

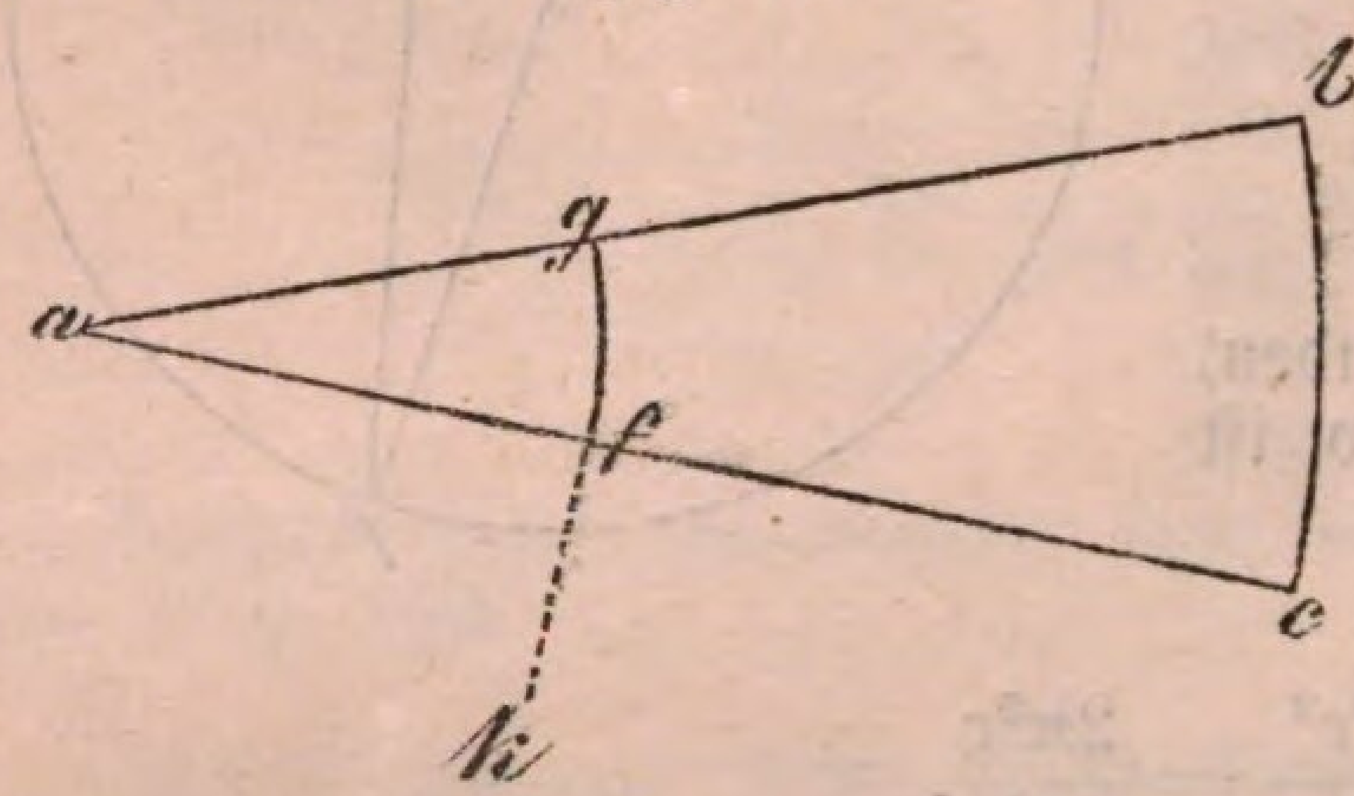
Je größer also der Radius der Bahn und die Masse des Körpers und je kleiner die Umlaufszeit, desto größer ist die Centripetal- und also auch die Centrifugalkraft. Warum kann man mit einer Schleuder weiter werfen, als mit der bloßen Hand, und zwar desto weiter, je länger der Faden und je schneller man die Schleuder dreht? — In Zuckersiedereien benutzt man die Centrifugalkraft, um den flüssigen Theil der Melasse von dem Zucker zu entfernen. Man bringt nämlich die Melasse in ein cylinderförmiges Gefäß, dessen Seitenwand ein enges Drahtsieb bildet, und welches eine Maschine in sehr schnell rotirende Bewegung versetzt. Die Centrifugalkraft schleudert nun den flüssigen Theil der Melasse durch die Maschen des Siebes, während der Zucker zurückgehalten wird. Durch ein ähnliches Verfahren erspart man in großen Waschanstalten das für die Wäsche so nachtheilige Auswinden. — Der Turner muß beim sogenannten Aufschwunge am Reck den Schwerpunkt des Körpers dicht unter die Reckstange bringen, warum? Bei der Rückenwelle müssen die Arme fest angezogen werden, damit der Schwerpunkt des Körpers möglichst dicht unter die Reckstange komme. Vernachlässigt man dies, so haben die Arme viel zu leiden, warum? Dieselbe Lage muß der Schwerpunkt bei

der Bauchwelle haben. Der im Kreise herum reitende Kunstreiter muß eine solche Stellung einnehmen, daß sein Körper die Richtung der Resultirenden aus der Erdschwere und der Centrifugalkraft hat. Je schneller das Pferd läuft, desto schräger muß er stehen. Ebenso ist es beim Rundlaufe. Wie groß ist wegen der Achsendrehung der Erde die Centrifugalkraft am Aequator, wenn der Erdradius = 860 Meilen und die Umlaufszeit = 24 Stunden ist? Wenn ein Eisenbahnzug in einer Stunde m Meilen zurücklegt, die Entfernung der Schienen von einander = w Meter ist und der Schwerpunkt der Waggons h Meter über den Schienen liegt; wie groß darf dann höchstens der Radius der Bahn-Curven sein, wenn die Waggons durch die Centrifugalkraft nicht umgeworfen werden sollen? Bilde Aufgaben, in welcher m die Unbekannte ist.

§ 43. Trägheitsmoment.

§ 43. Trägheitsmoment. Ist ein Körper an einem Stabe befestigt, welcher um einen seiner Punkte drehbar ist, und soll ihm eine Centralbewegung um diesen Punkt herum ertheilt werden durch eine Kraft, welche in irgend einem Punkte des Stabes angreift, so setzt er dieser Kraft einen desto größeren Widerstand entgegen, oder, was dasselbe ist, sein Trägheitsmoment ist desto größer, je größer erstens seine Masse und zweitens seine Entfernung vom Drehpunkte ist.

Fig. 50.



Bestimmung seiner Größe.

Es sei ac (Fig. 50) der Stab, a sein Drehpunkt; in f sei ein Körper angebracht, auf welchen eine Kraft = p in der Richtung kf wirkt und ihn in s Secunden von f nach g bewegt. (Wir lassen die Erdschwere und die Hindernisse der Bewegung unberücksichtigt.) Versetzt man den Körper aus f in eine n mal so große Entfernung vom Drehpunkte, etwa nach c, so daß ac = n . af ist, so wird die Kraft, welche, unmittelbar auf ihn wirkend, ihn in s Secunden von c nach b treibt, = np sein, weil bc = n . gf; und soll die Kraft nicht in c, sondern in f angreifen, so muß sie nach den Hebelgesetzen = n . np = n^2p sein. Ist aber die Masse des in c angebrachten Körpers m mal so groß, als die des vorher in f befindlichen, so wird die in f wirkende Kraft = mn^2p sein müssen, d. h. das Trägheitsmoment eines Körpers, welcher an einem Stabe in eine Centralbewegung versetzt werden soll, m Massen-Einheiten hat und um n Längen-Einheiten vom Centrum der Bewegung entfernt ist, ist n^2m mal so groß, als dasjenige eines Körpers, welcher eine Massen-Einheit hat und eine Längen-Einheit vom Centrum entfernt ist.

Erklärung. Man nennt daher das Product aus der Masse und dem Quadrate der Entfernung vom Centrum kurzweg: das Trägheitsmoment des Körpers in Beziehung auf den Drehpunkt.

Ferner: Wenn einem Körper im Punkte c von einer Kraft p, deren Angriffspunkt auch in c liegt, in s Secunden eine gewisse Geschwindigkeit ertheilt worden ist, und er soll durch dieselbe Kraft bei

demselben Angriffspunkte wieder in Ruhe gesetzt werden, so muß die Kraft p in entgegengesetzter Richtung wieder s Secunden lang wirksam sein. Soll er aber in Ruhe gesetzt werden, indem die Kraft in f angreift, so muß diese, wenn es in s Secunden geschehen soll, $= n^2p$ sein, oder es dauert, wenn die Kraft $= p$ ist, n^2s Secunden; und hat der Körper eine m mal so große Masse, als im ersten Falle, so ist, um ihn in s Secunden im Punkte f wieder in Ruhe zu versetzen, eine Kraft $= mn^2p$ nöthig, oder die Kraft p muß mn^2s Secunden in f wirksam sein. Gieb Beispiele in bestimmten Zahlen.

Hiernach läßt sich berechnen, welche Wirkung Maschinenräder auf andere Maschinentheile ausüben, in welche die an ihrer Welle befindlichen Triebstöcke eingreifen.

Der Seiltänzer benutzt das Trägheitsmoment der Bleistücke, welche an den Enden der Balancirstange angebracht sind, um sich im Gleichgewicht zu erhalten. Wenn er z. B. nach links schwankt, so drückt er mit der linken Hand auf die Stange nach unten, mit der rechten nach oben, wobei die Stange wegen der Bleistücke fast so wirkt, als wenn sie an den Enden irgendwo befestigt wäre. — Der Turner hält bei der Rückenwelle die Füße, so lange sie im Niederfallen begriffen sind, ausgestreckt, er zieht sie aber zusammen, wenn sie beim Aufsteigen den letzten Quadranten beschreiben. Warum?

§ 44. Anwendungen der Central-bewegungs-Gesetze.

§ 44. Anwendungen. 1) Das Schwungrad an den Maschinen dient dazu, die Bewegung derselben gleichförmig zu machen. Damit dasselbe sich aber möglichst gleichförmig bewege, muß sein Trägheits-Moment möglichst groß sein; denn je größer dieses ist, desto weniger Einfluß haben die Hindernisse der Bewegung und die Unregelmäßigkeit der Triebkraft auf die Geschwindigkeit des Rades. Daher giebt man diesem einen möglichst großen Radius und eine möglichst große Umfangsmasse.

2) Aus der Verschiedenheit der Centrifugalkraft, welche die einzelnen Theile des Erdkörpers bei dessen Achsendrehung haben, läßt sich die Entstehung seiner Abplattung an den Polen erklären. Wie nämlich?

3) Die Bewegung des Mondes um die Erde und der Planeten um die Sonne sind Centralbewegungen. Die Bahnen sind Ellipsen: aber diese unterscheiden sich so wenig von Kreisen, daß man sie in vielen Fällen als solche betrachten kann.

Die Centripetalkraft bei den Centralbewegungen der Himmelskörper ist die Gravitation.

Newton vermuthete, die Centripetalkraft bei der Mondbewegung sei die Erdschwere und bewies dies auf folgende Weise: Er berechnete aus dem Radius der Mondbahn und dessen Umlaufszeit den Weg, welchen der Mond in einer Minute zurücklegen würde, wenn er der Centripetalkraft allein folgte; dann bestimmte er den Weg, den der Mond nach der Erde zu in einer Minute durchlaufen würde, wenn er der Erdschwere allein folgte und fand beide Wege ganz übereinstimmend,

nämlich den einen = 4,865 Meter,
den andern = 4,904 „

Führe diese Rechnung nach folgenden Daten aus. Der Umfang der Erde = 40000000 Meter. Aus diesem ist der Erdradius zu berechnen. Der Radius der Mondbahn = 60 Erdhalbmessern. Die Umlaufszeit des Mondes = 27 Tage 7 Stunden 43 Minuten.

Anleitung zur Berechnung. Der Weg, den der Mond in einer Minute durchlaufen würde, wenn er der Centripetalkraft allein folgte, ist = $\frac{2\pi^2 r}{t^2}$. Der Weg, welchen er, durch die Erdschwere allein getrieben, in einer Minute zurücklegen würde, wird auf folgende Weise gefunden: Der Fallraum in der Entfernung von einem Erdhalbmesser beträgt nach der Formel

$$F = t^2 \frac{g}{2},\ 60^2 \,.\, 4{,}904 \text{ Meter.}$$

Die Anziehung der Erde nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt, ein Gesetz, welches bei den Pendelgesetzen näher erörtert worden ist, folglich ist der Fallraum in der Entfernung von 60 Erdhalbmessern = $\frac{60^2 \,.\, 4{,}904}{60^2} = 4{,}904$.

Als Newton diese Berechnung zum ersten Male anstellte, hatte er für den Erdhalbmesser, und also auch für die Entfernung des Mondes einen zu kleinen Werth in Rechnung gebracht und fand daher den Fallraum des Mondes größer, als den durch die Centripetalkraft bewirkten Weg. Umgekehrt von diesem kleineren Wege ausgehend, hätte der Fallraum einer Secunde auf der Erde 4,08 Meter betragen müssen, während er doch fast 5 Meter beträgt. Diese Differenz veranlaßte ihn, seine Hypothese, die Erdschwere sei die bei der Mondbewegung thätige Centripetalkraft, ganz aufzugeben. Zwölf Jahre später, im Jahre 1682, erfuhr er, daß Picard in Frankreich durch genaue Gradmessungen den Erdradius um $^1/_7$ größer gefunden habe, als man bis dahin nach früheren ungenauen Messungen angenommen hatte. Sogleich nahm Newton seine Rechnung wieder auf und hatte nun die Freude, seine Theorie vollständig bestätigt zu sehen.

Die Keppler'schen Gesetze für die Planetenbahnen.

4) Berechnet man für zwei Planetenbahnen das Verhältniß der Centripetalkräfte vermittelst der Formel $P = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, und dann dasselbe Verhältniß nach dem Gravitationsgesetze, so erhält man das Gesetz:

Die Quadrate der Umlaufszeiten zweier Planeten verhalten sich, wie die Kuben ihrer mittleren Entfernungen,

$$\text{d. i. } \frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}.$$

Entwickelung dieser Formel. Die Entfernung eines Planeten von der Sonne sei r Meter, seine Umlaufszeit t Zeiteinheiten, die entsprechenden Größen eines andern Planeten seien R und T, so ist für den ersten die Beschleunigung der Centripetalkraft $P = \frac{4\pi^2 r}{t^2}$, für den zweiten $P^1 = \frac{4\pi^2 R}{T^2}$,

folglich $\frac{P}{P^1} = \frac{\frac{4\pi^2 r}{t^2}}{\frac{4\pi^2 R}{T^2}} = \frac{rT^2}{Rt^2}$.

Ist nun die Beschleunigung der Sonnen-Anziehung für den ersten = g, für den zweiten G, so ist $\frac{g}{G} = \frac{R^2}{r^2}$. Es ist aber g = P und G = P¹, also $\frac{rT^2}{Rt^2} = \frac{R^2}{r^2}$, d. i. $\frac{T^2}{t^2} = \frac{R^3}{r^3}$.

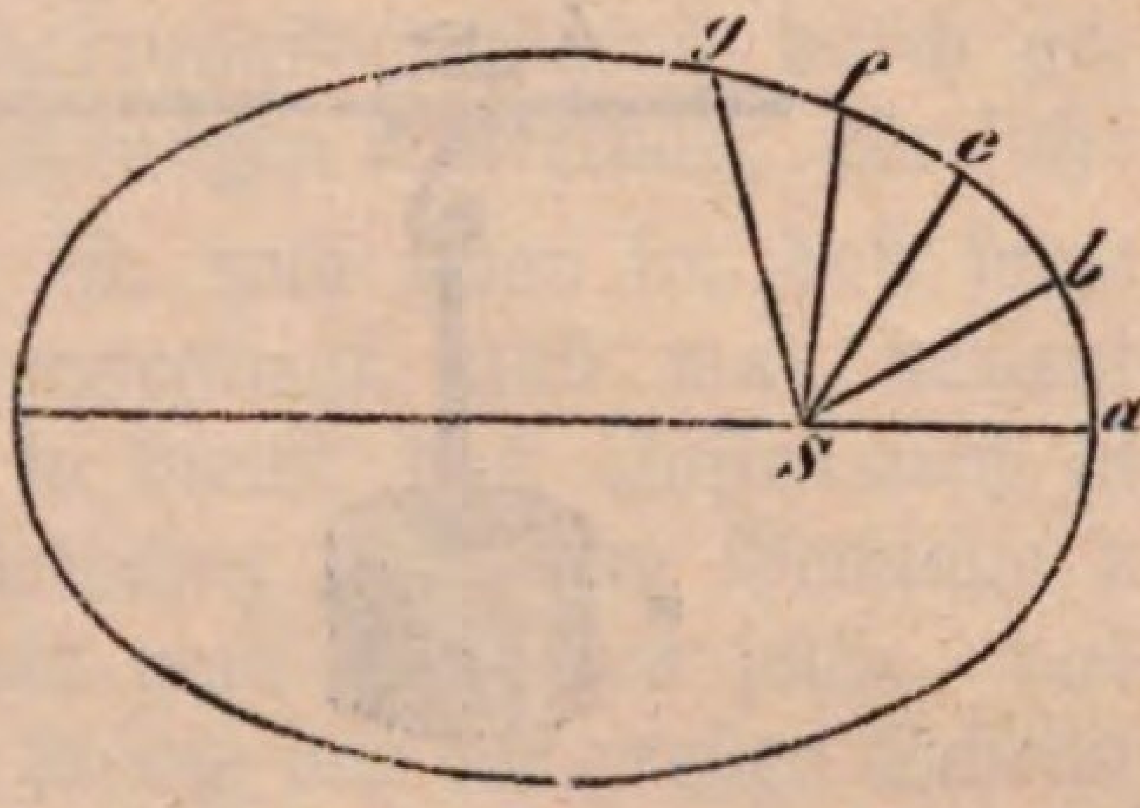
Dies wichtige Gesetz der Planetenbewegung, welches hier aus mechanischen Gesetzen entwickelt ist, hatte Keppler (1571—1630) aus astronomischen Beobachtungen abgeleitet. Es ist unter dem Namen des 3. Keppler'schen Gesetzes bekannt.

Die beiden ersten Keppler'schen Gesetze heißen:

1) Die Planetenbahnen sind Ellipsen, in deren einem Brennpunkte die Sonne steht.

2) Die Radienvectoren der Planeten-Bahnen beschreiben in gleichen Zeiten gleiche Räume.

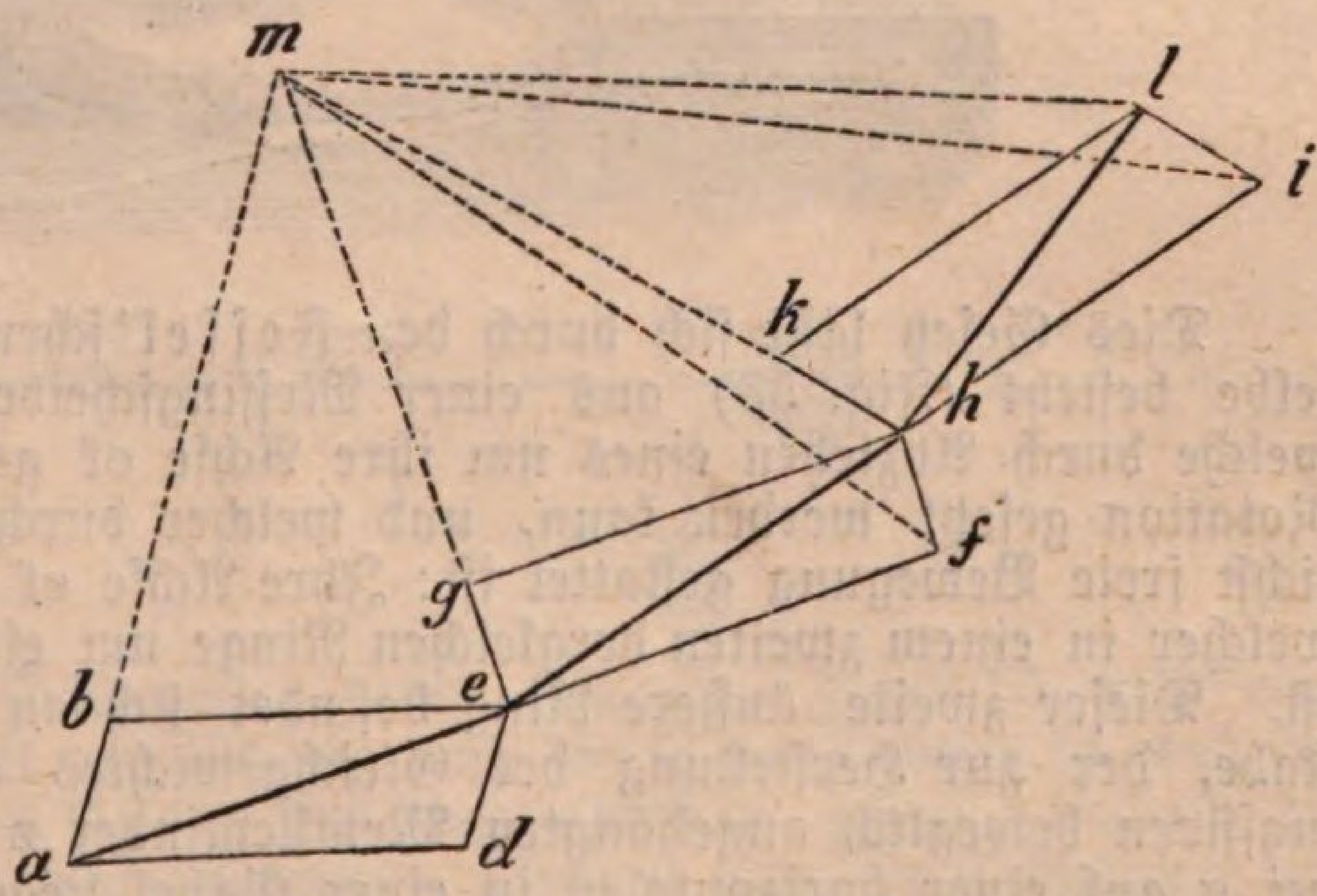
Fig. 51.



(Fig. 51.) Befindet sich die Sonne in S, und sind ab, bc, cf, fg die Wege, welche der Planet in gleichen Zeiten durchläuft, so ist abS = bcS = cfS = fgS.

Beweis. Gesetzt, der Mittelpunkt der Centralbewegung eines Körpers sei m (Fig. 52). Dieser befinde sich im Punkte a und werde durch die Centripetalkraft in einem Momente von a bis b, von dem Beharrungs-Vermögen bis d getrieben, so bewegt er sich, von beiden zugleich getrieben, von a nach e. Dann würde er im folgenden Momente durch das Beharrungsvermögen von e nach f und von der Centripetalkraft von e nach g getrieben, also geht er im 2. Momente von beiden zugleich getrieben, von e nach h, ebenso geht er im 3ten Momente von h nach l. Mache die in der Figur angedeuteten Constructionen; dann ist Δ aem = Δ efm = Δ ehm. Ferner ist Δ ehm = Δ him = Δ hlm. Folglich Δ aem = Δ ehm = Δ hlm. Das sind aber die in den einzelnen Momenten vom Radius Vector beschriebenen Räume.

Fig. 52.

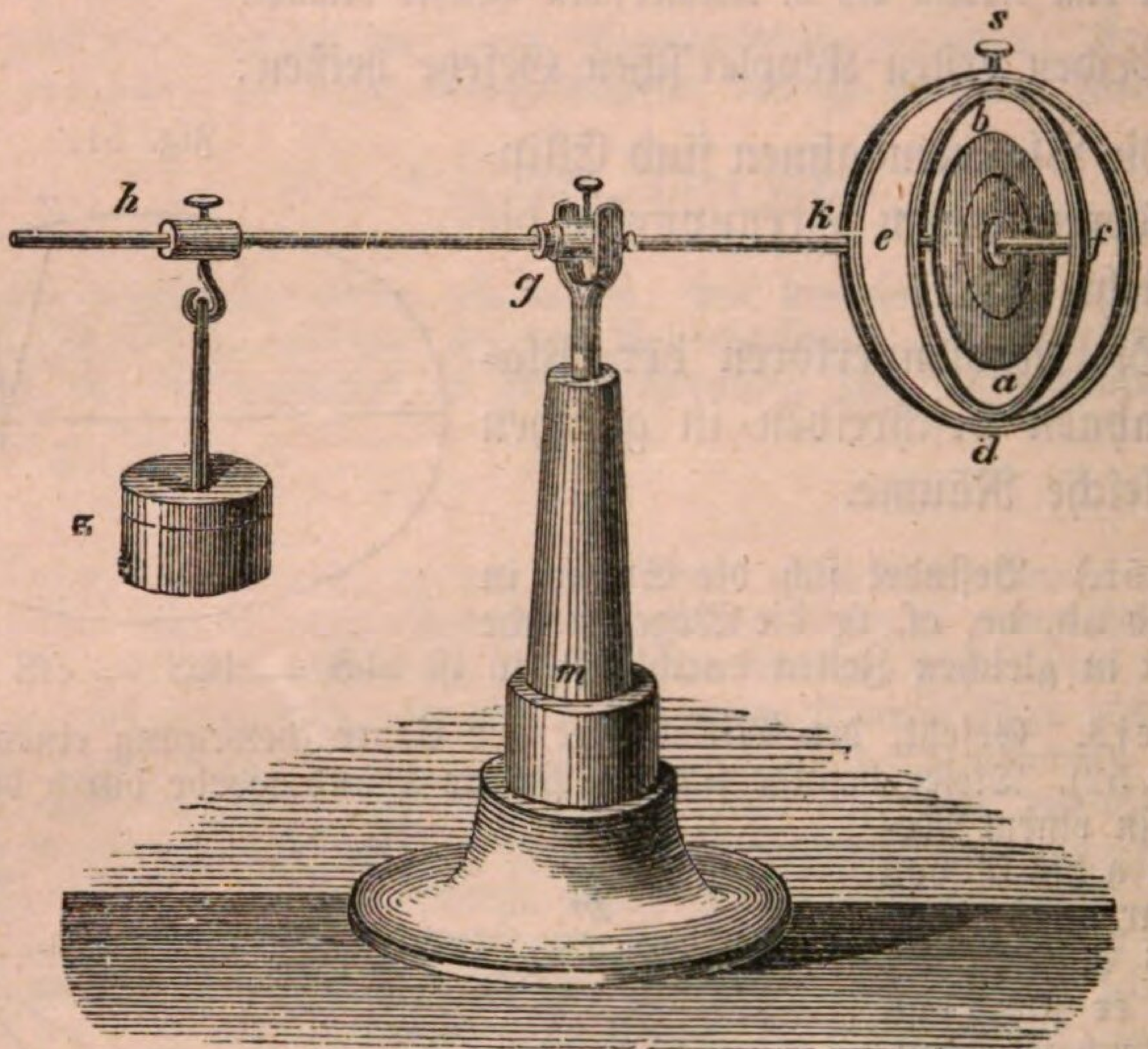


§ 45. Die Bewegung der Massentheilchen eines rotirenden Körpers ist auch eine Centralbewegung. Bei ihr kommt eine interessante Form des Beharrungsvermögens zur Erscheinung, nämlich: § 45. Beharrungsvermögen eines rotirenden Körpers.

Gesetz. Jeder rotirende Körper hat das Bestreben, die Richtung seiner Rotations-Achse beizubehalten, oder was dasselbe ist, seine Massentheilchen haben das Bestreben, die Richtung ihrer Rotations-

Ebene (die Ebene des Kreises, welchen jedes Massentheilchen bei der Rotation beschreibt) beizubehalten, d. h. der rotirende Körper setzt einer Kraft, welche ihn zwingt, die Richtung der Achse oder der genannten Ebenen zu verändern, einen Widerstand entgegen, und dieser ist desto größer, je größer die Masse und die Rotationsgeschwindigkeit des Körpers ist. Vergleiche §§ 10 und 40, Nr. 7.

Fig. 53.



Dies Gesetz läßt sich durch den Fessel'schen Apparat nachweisen. Derselbe besteht (Fig. 53) aus einer Messingscheibe ab mit schwerem Rande, welche durch Abziehen eines um ihre Achse ef gewickelten Fadens in schnelle Rotation gesetzt werden kann, und welcher durch folgende Einrichtung möglichst freie Bewegung gestattet ist: Ihre Achse ef ruht in einem Messingringe, welcher in einem zweiten dergleichen Ringe um eine verticale Achse sd drehbar ist. Dieser zweite äußere Ring befindet sich an einem horizontalen Stahlstabe, der zur Herstellung des Gleichgewichtes an dem andern Ende einen massiven beweglich angehängten Metallcylinder z trägt. Der Stahlstab ruht bei g auf einer horizontalen in einer Gabel liegenden Achse und diese wird von einem verticalen Stahlstab getragen, welcher in der Höhlung eines schweren Fußgestells steckt und auf seiner Spitze drehbar ist. Auf dem Metallcylinder z liegt eine etwas überstehende Messingscheibe, welche einen Einschnitt bis zu ihrem Mittelpunkte hat, damit sie leicht abgenommen und wieder aufgelegt werden kann. Die Bewegung des innern Ringes um die Achse sd läßt sich durch eine im äußern Ringe angebrachte Schraube s aufheben, so daß dann beide Ringe gewissermaßen nur einen bilden.

1) Hat man nun den innern Ring in der Weise festgeschraubt, daß seine Ebene mit der des äußern zusammenfällt, und steht die Messingscheibe in Ruhe, so reicht der geringste Druck, den man mit dem Finger auf den horizontalen Stab im Punkte h entweder seitwärts oder in verticaler Richtung ausübt, hin, die Scheibe aus ihrer Lage zu bringen; aber der Druck muß

bedeutend größer sein, wenn die Scheibe rotirt, und zwar desto größer, je schneller sie rotirt.

2) Gestattet man dem innern Ringe freie Bewegung um die Achse sd und rotirt die Scheibe, so behält diese ihre Richtung bei, wenn man auch den Stab hk in horizontaler Richtung um die Achse gm dreht oder das Instrument in verschiedenen Richtungen umherträgt.

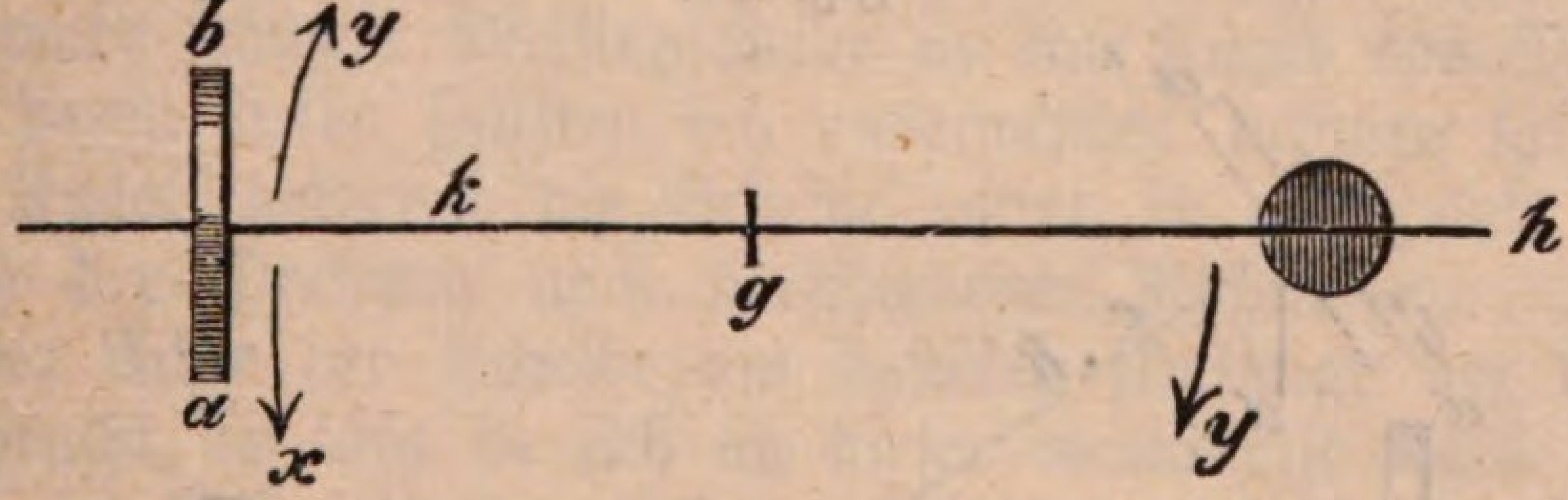
Hieraus ist erklärlich, warum die Erde bei ihrem Umlaufe um die Sonne die Richtung ihrer Achse beibehält, der Himmelspol also an derselben Stelle des Himmels bleibt.

§ 46. Erscheinungen, welche die Rotation eines Körpers erzeugt.

§ 46. Wenn eine Kraft die Richtung der Achse eines rotirenden Körpers zu verändern sucht, so macht sich die Wirksamkeit des im vorigen Paragraphen nachgewiesenen Beharrungsvermögens durch gewisse Gleichgewichts- und Bewegungs-Erscheinungen bemerkbar; nämlich:

Wenn der innere Ring festgeschraubt ist, und zwar so, daß seine Ebene mit der des äußeren Ringes zusammenliegt, und man versetzt die Messingscheibe in schnelle Rotation, so bleibt das Instrument in Ruhe; sobald man aber das Messingscheibchen von dem Gewichte z (Fig. 53) abnimmt, so sinkt 1. nicht, wie man erwarten sollte, das Ende des Stabes hk, welcher die beiden Ringe mit der großen Scheibe trägt, nieder, sondern der Stab hk bleibt horizontal, und 2. er dreht sich um die verticale Achse gm, und zwar in der Richtung der Pfeile y (s. Fig. 54, welche den Stab hk mit der Messingscheibe ab von oben gesehen darstellt), wenn die oberen Theile der Scheibe in der Richtung des Pfeiles x rotiren.

Fig. 54.

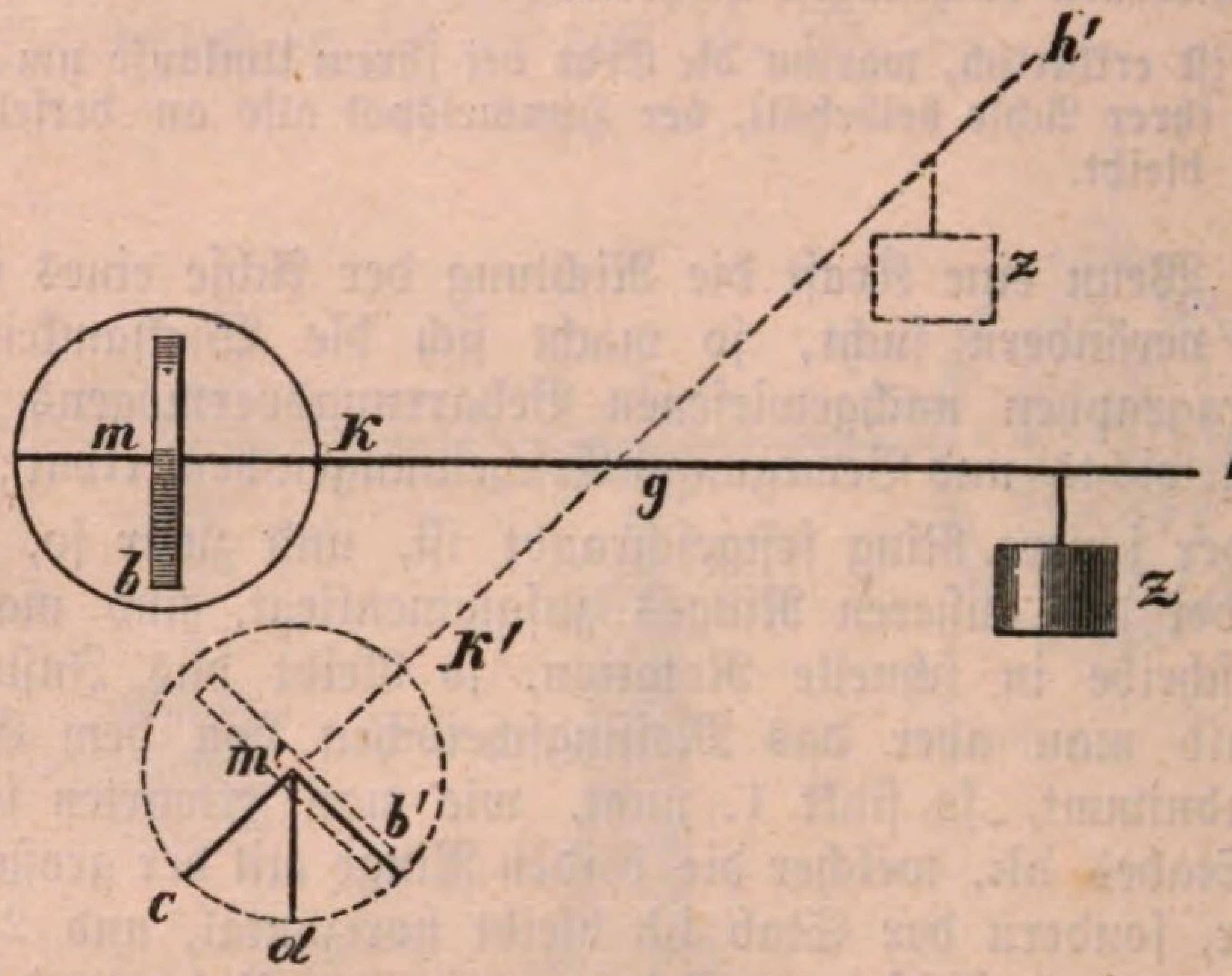


Wir wollen die zweite Erscheinung zuerst erklären. Figur 55 stelle eine Seitenansicht des Stabes mit der Scheibe dar; die Scheibe rotire so, daß die dem Beschauer zugewendeten Theile derselben abwärts gehen. Sobald die Messingscheibe vom Gewichte z abgenommen wird, so sucht die Erdschwere den Stab aus der Lage hk in die Lage h'k' zu ziehen. Dadurch würde die Rotationsrichtung der untersten und obersten Massen-Theilchen der Scheibe nicht verändert werden (denn ihre Richtungen sind in den beiden Stellungen des Instrumentes parallel), daher bewirkt ihre lebendige Kraft blos das Weiterrotiren der Scheibe; die dem Beschauer zugewendeten Seitentheilchen der Scheibe aber (die, welche 90° Grad von den obersten entfernt sind) würden durch das Herabsinken derselben aus der Richtung mb in die Richtung m'b' kommen. Dieselben streben aber, in der Richtung m'd zu verharren; ihre lebendige Kraft wirkt also in dieser Richtuug m'd. Diese Kraft läßt sich nun in zwei andere, m'c und m'b', zerlegen, von welchen m'b' in der Richtung der Tangente wirkt, also die fernere Rotation veranlaßt, m'c aber auf den Rand der Scheibe in der Richtung ihrer Achse drückt und daher die Drehung des Stabes hk in der Richtung der Pfeile y (Fig. 54) bewirkt. Dieselbe

Wirkung bringen die auf der entgegengesetzten Seite liegenden Theile der Scheibe hervor.

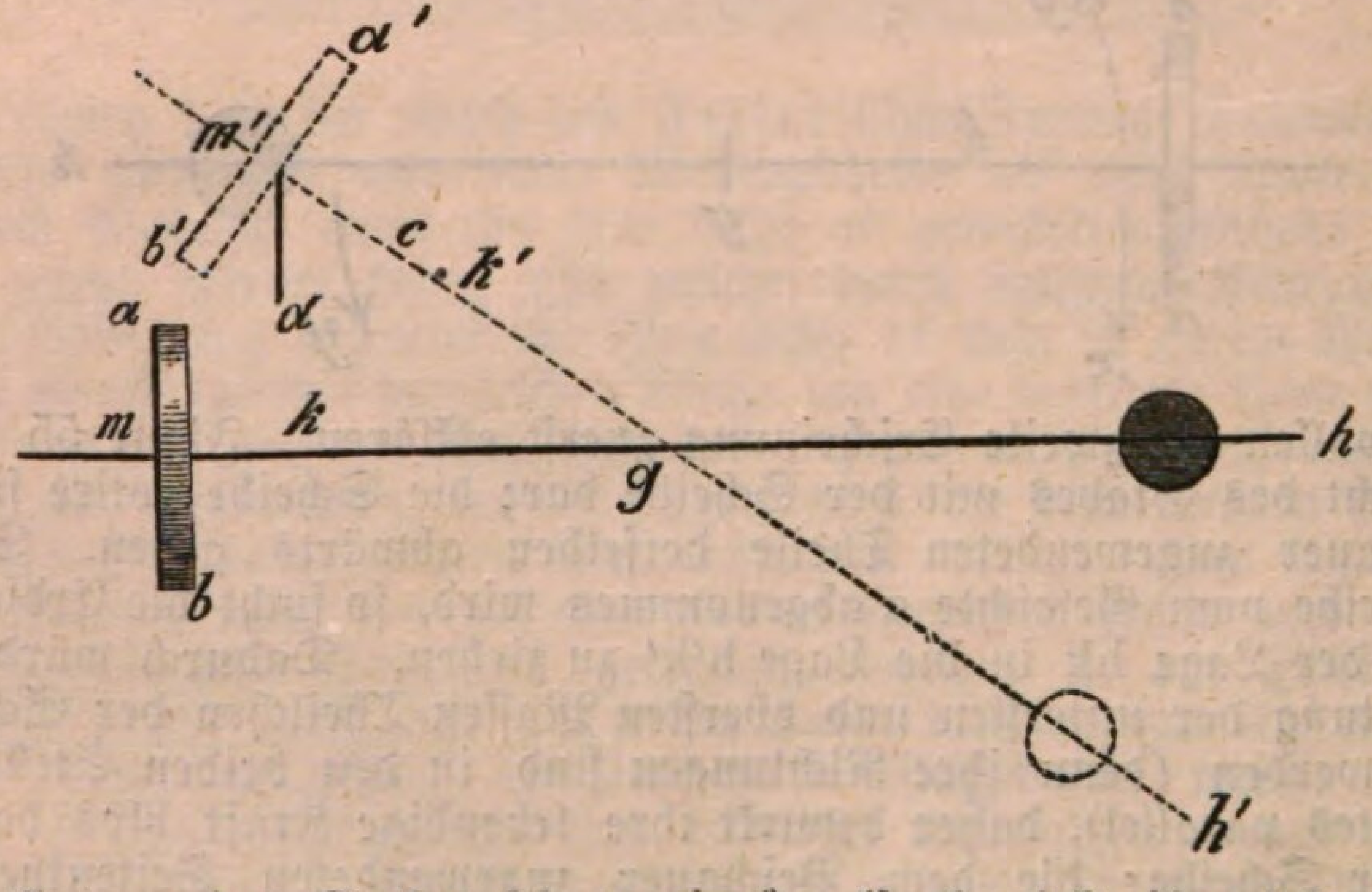
Diese Drehung des Stabes mit der Scheibe um die Achse gm (Fig 53) ist nun die Ursache der zuerst angeführten Erscheinung, daß nämlich die Scheibe

Fig. 55.



ab trotz der Abnahme des Scheibchens von z nicht niedersinkt. Durch diese Drehung geht nämlich der Stab hk aus der Lage hk in die Lage h'k' über (Fig. 56, welche das Instrument von oben gesehen darstellt). Dadurch verändert sich die Bewegungs-Richtung derjenigen Theile der Scheibe ab, welche 90° vom obersten und untersten Punkte entfernt sind, nicht (sie bleibt in den

Fig. 56.



beiden Stellungen des Stabes hk vertical), also bewirkt ihre lebendige Kraft blos das Weiterrotiren. Die obersten Theile aber bewegten sich bei der ersten Stellung in der Richtung mb (wo mb die an den obersten Punkt gezogene Tangente bezeichnet) und sind jetzt gezwungen, sich in der Richtung m'b' zu bewegen. Da sie aber das Bestreben haben, in der ersten Richtung, d. i. m'd, weiter zu rotiren, so wirkt ihre lebendige Kraft in dieser Richtung m'd. Diese Kraft läßt sich zerlegen in die Kräfte m'b' und m'c. Die Kraft m'b' befördert die Rotation, m'c drückt auf die obersten Theile der Scheibe in der Richtung ihrer Achse und verhindert dadurch das Herabsinken derselben. Die-

selbe Wirkung hat, wie sich aus einer ganz gleichen Betrachtung ergiebt, die Richtungsveränderung der untersten Theile.

Man kann auch durch einen Druck auf den Stab bei h nach unten diesen aus seiner horizontalen Richtung bringen, so daß der eigentlich überwiegende Theil desselben, gk, nach oben gerichtet ist, und doch sinkt die Scheibe nicht nach unten. Daß in der Drehung des Instrumentes aus der Lage hk in die Lage h'k' die Ursache liegt, warum trotz des durch das Abnehmen des Messingscheibchens von z gestörten Gleichgewichts die schwere Scheibe nicht niedersinkt, ergiebt sich daraus, daß dieses sogleich geschieht, wenn man diese Drehung verhindert.

Die hier angeführten Erscheinungen treten auch ein, wenn man das Gleichgewicht dadurch stört, daß man, anstatt das Messingscheibchen von z wegzunehmen, noch ein zweites Scheibchen auflegt, nur daß dann die horizontale Drehung des Stabes hk in der entgegengesetzten Richtung erfolgt. Ist die Scheibe mit den Ringen im Vergleich zu dem Stabe hk nicht gar zu schwer, und rotirt sie schnell genug, so kann man das Gewicht z ganz abnehmen, ohne daß die Scheibe niedersinkt.

Auf den hier betrachteten Gesetzen beruht die Erscheinung, daß ein rotirender Kreisel nicht nur nicht umfällt, wenn auch seine Achse nicht vertical steht, also sein Schwerpunkt nicht unterstützt ist, sondern sich sogar nach und nach vertical stellt. Die Erklärung derselben ergiebt sich aus den soeben beschriebenen Versuchen, wenn man sich die rotirende Scheibe als Kreisel denkt, dessen Achse der Stab kg und dessen Fußpunkt g ist. Bewegung des Kreisels.

Das Beharrungsvermögen eines rotirenden Körpers kommt auf recht interessante Weise zur Erscheinung, wenn man eine in einem Ringe rotirende schwere Messingscheibe in eine Kugel von Messingblech einschließt, deren beide Hälften sich auseinander nehmen lassen. Hält man diese Kugel, während die Scheibe rotirt, in der Hand, so widersetzt sie sich der Drehung nach verschiedenen Richtungen. Ist in der Richtung der Achse der Scheibe am äußeren Umfange der Kugel eine Oese angebracht, so läßt sie sich an dieser vermittelst eines Fadens so halten, daß die Oese seitwärts steht, während doch bei ruhender Scheibe die Oese den obersten Punkt einnimmt. Natürlich macht im ersteren Falle die Kugel eine kreisförmige Bewegung um den Faden herum.

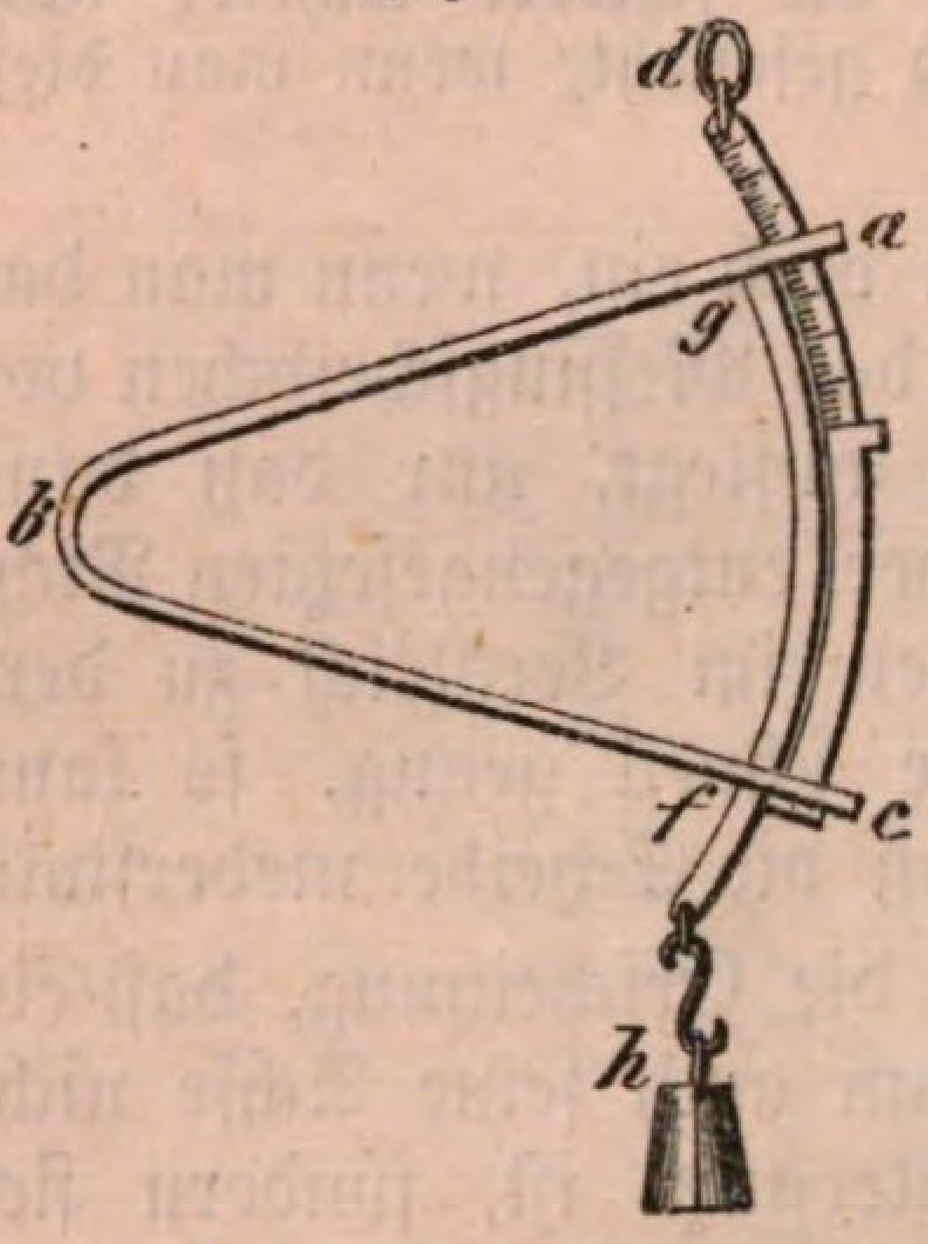
Mechanische Arbeit und lebendige Kraft.

§ 47. 1) Erklärung. Die mechanische Arbeit besteht in der Ueberwindung eines Widerstandes (oder mehrerer Widerstände). § 47. Mechanische Arbeit.

Die Arbeit der Pferde, welche einen Schlitten auf einer horizontalen Fläche fortziehen, besteht darin, daß sie die Reibung des Schlittens auf der Schneefläche überwinden. Ziehen sie an einem Wagen, so ist die Reibung der Räder an den Achsen und auf der Erde zu überwinden und geht es bergan, so muß noch der Widerstand der Erdschwere überwunden werden. Die Arbeit, welche beim Rammen verrichtet wird, besteht in der Ueberwindung der Erdschwere, der Reibung an der Rolle und der Steifheit des Seiles. Beim Holzsägen ist die Cohäsion des Holzes und die Reibung der Säge an dem Holze zu überwinden.

2) Um die Größe der Arbeit zu bestimmen, muß man zunächst die Größe des zu überwindenden Widerstandes kennen. Diese wird in der Regel gemessen durch das Gewicht eines Kilogramms, d. h. man nimmt als Maß den Widerstand, welchen ein Kilogrammgewicht leistet, wenn man es heben will.

Fig. 57.



Befestigt man z. B. an der Deichsel eines Schlittens oder Wagens ein Seil, läßt dieses horizontal über eine Rolle gehen und muß nun 200 Kilogramm daran hängen, wenn der Schlitten oder Wagen so eben in Bewegung kommen soll, so sagt man, die Größe des Widerstandes, den die Reibung bietet, beträgt 200 Kilogramm. Die Pferde müssen in diesem Falle so stark ziehen, als wenn sie 200 Kilogramm in die Höhe ziehen sollten.

Das Dynamometer.

Zur bequemeren Messung des Widerstandes dient das sogenannte Dynamometer (Fig. 57). abc ist eine starke gebogene Stahlfeder, an deren einem Ende c ein mit einer Theilung versehener Metallbogen befestigt ist. Dieser geht an dem anderen Ende der Stahlfeder durch einen Schlitz derselben und trägt oben einen Ring d. Bei g ist ein anderer Metallbogen befestigt, der bei f durch einen Schlitz geht und mit einem Haken h versehen ist. Hängt man nun das Instrument vermittelst des Ringes d auf und hängt in den Haken h nach und nach 1 Kilogr., 2 Kilogr., 3 Kilogr. u. s. w., so nähert sich der Theil ab mehr und mehr dem Theile bc, und aus dem jedesmaligen Stande von ab erhält man die oben erwähnte Theilung des ersten Metallbogens.

Wird nun z. B. das Instrument vermittelst des Ringes d an einen Wagen oder einen Pflug befestigt und die Pferde ziehen an den Haken h, und wird während des Ziehens der Theil der Feder ab bis auf die Zahl 100 gedrückt, so beträgt die Kraft, mit welcher die Pferde ziehen, und also auch der zu überwindende Widerstand 100 Kilogramm.

3) Die Größe der Arbeit hängt aber nicht blos von der Größe des zu überwindenden Widerstandes, sondern auch von der Länge des Weges ab, auf dem der Widerstand zu überwinden war.

Denn wenn die Pferde einen Wagen 3 Meilen weit gezogen haben, so haben sie 3mal so viel Arbeit verrichtet, als wenn sie ihn blos 1 Meile weit gezogen haben. Ein Arbeiter, welcher an einer Haspel arbeitet, hat nach 100 Umdrehungen 5mal so viel Arbeit verrichtet, als nach 20 Umdrehungen.

Messung der mechanischen Arbeit.

4) Als Maß zur Messung der Arbeit nimmt man diejenige Arbeit, welche man verrichtet, wenn man ein Kilogramm einen Meter hoch hebt, d. h. wenn man ein Kilogramm Widerstand auf die Länge eines Meters überwindet. Man nennt dieses Maß ein Kilogrammometer oder Meterkilogramm.

Hat z. B. Jemand eine Kurbel gedreht, deren Widerstand 1 Kilogramm beträgt, und hat seine Hand dabei einen Weg von 12 Meter durchlaufen, so beträgt seine Arbeit 12 Meterkilogramm = 12 mk.

5) Der Zahlen-Ausdruck für die Größe der Arbeit ist das Produkt aus dem Widerstande und der Länge des Weges, auf welchem der Widerstand überwunden ist, d. i.

$$A = kw,$$

wo A die Arbeitsgröße, k den Widerstand und w den Weg bezeichnet.

Hat z. B. Jemand einen Handwagen, zu dessen Fortbewegung eine Kraft von 40 Kilogr. nöthig ist, d. h. dessen Widerstand = 40 Kilogr. ist, 100 Mtr. weit gezogen, so hat er 100 . 40 Meterkilogramm Arbeit verrichtet. Denn hätte die Fortbewegung des Wagens blos 1 Kilogr. Kraft erfordert und wäre er 1 Meter weit fortgezogen, so hätte die Arbeit 1 Meterkilogramm betragen. Auf 100 Meter Weglänge beträgt sie daher 100 Meterkilogramm; da aber nicht 1 Kilogr., sondern 40 Kilogr. Kraft erfordert wurde, so beträgt die Arbeit 40 . 100 = 4000 Meterkilogramm. Führe dieselbe Rechnung für k Kilogr. Widerstand und w Meter Weglänge aus.

Anmerkung 1. Die Wirkungsfähigkeit einer Dampfmaschine, einer Wasserkraft u. dgl. bestimmt man gewöhnlich nach Pferdekräften. Man weiß nämlich aus Erfahrung, daß ein kräftiges Pferd, welches 8 Stunden täglich arbeitet, durchschnittlich in der Secunde 75 mk Arbeit verrichtet. Wenn also eine Locomotive einen Wagenzug, dessen Reibungswiderstand = 75 Kilogr. sind, auf einer horizontalen Strecke in einer Secunde 6 Mtr. weit zu ziehen vermag, so daß sie also in einer Secunde eine Arbeit von 6 . 75 mk verrichtet, so sagt man, es sei eine Locomotive von 6 Pferdekräften. Oder wenn zur Umdrehung des Wasserrades einer Mühle ein Druck von 50 Kilogr. auf dessen Schaufeln nöthig ist, und das Wasser treibt das Rad mit einer Geschwindigkeit von 3 Meter, d. h. so, daß jede Schaufel einen Bogen von 3 Meter Länge in der Secunde zurücklegt, so beträgt die Arbeit der Wasserkraft in einer Secunde 3 . 50 mk und folglich ist die Wasserkraft $= \frac{3\,.\,50}{75}$ = 2 Pferdekräften. Oft multiplicirt man noch die so erhaltene Zahl mit 3, weil die Maschine 24 Stunden, das Pferd nur 8 Stunden in einem Tage zu arbeiten vermag.

Anmerkung 2. Durch Maschinen wird die Arbeitsgröße nicht vermehrt. Läßt sich an den einfachen Maschinen leicht nachweisen.

§ 48. Es ist bekannt, daß jeder in Bewegung befindliche Körper, wenn die ihn bewegende Kraft zu wirken aufhört, eine Zeit lang noch in Bewegung bleibt, also den Widerstand von Hindernissen, die sich der Bewegung entgegenstellen, auf eine gewisse Strecke überwindet. § 48. Lebendige Kraft.

Z. B. eine Kegelkugel rollt, nachdem sie die werfende Hand verlassen hat, auf ebenem Boden eine Strecke fort. Der Locomotivführer setzt, wenn er in einen Bahnhof einfahren will, in großer Entfernung von demselben die Dampfkraft außer Thätigkeit, und doch fährt der Zug noch in den Bahnhof ein, ja es muß sogar noch gebremst werden. In beiden Fällen besteht der Widerstand, der sich der Bewegung entgegensetzt, in Reibung. Aber es werden durch in Bewegung befindliche Körper auch andere Widerstände überwunden, z. B. eine Büchsenkugel durchbohrt ein Brett und überwindet also die Cohäsion

des Holzes; eine senkrecht in die Höhe geschossene Kugel überwindet den Widerstand, welchen die Erdschwere ihr entgegensetzt.

Jeder in Bewegung befindliche Körper vermag also durch das Beharrungsvermögen auf eine gewisse Strecke einen Widerstand zu überwinden, d. h. eine Arbeit zu verrichten. Diese Wirkungs- oder Arbeitsfähigkeit eines in Bewegung befindlichen Körpers nennt man seine lebendige Kraft. Diese ist desto größer, je größer seine Masse und seine Geschwindigkeit ist und dabei ist es ganz gleichgültig, auf welche Weise oder durch welche Kraft er diese Geschwindigkeit erlangt hat, oder in welcher Richtung er sich bewegt.

Z. B. die Wirkungsfähigkeit zweier eiserner Kugeln, von denen jede 6 Kilogramm wiegt und eine Geschwindigkeit von 5 Mtr. hat, ist dieselbe, wenn die eine geworfen worden ist und die andere ihre Geschwindigkeit durch Herabrollen auf einer schiefen Ebene erlangt hat.

Es läßt sich demnach die Wirkungsfähigkeit eines bewegten Körpers, seine lebendige Kraft, aus seiner Geschwindigkeit und Masse berechnen:

Größe der lebendigen Kraft.

Ein mit c Meter Geschwindigkeit senkrecht in die Höhe geworfener Körper steigt $\frac{c^2}{2g}$ Meter hoch, wo g die Beschleunigung des freien Falles bedeutet.

Denn der mit c Meter Geschwindigkeit in die Höhe geworfene Körper kommt nach § 34 Nr. 3 mit c Meter Geschwindigkeit auch wieder zur Erde. Nennen wir nun die Anzahl Secunden, welche er zum Zurückfallen aus seiner höchsten Höhe gebraucht, t, so ist nach § 32 Nr. 3 $c = tg$, also $t = \frac{c}{g}$. In t Secunden fällt aber ein Körper $t^2 \frac{g}{2}$ Meter. Hierein den für t gefundenen Werth gesetzt, giebt $\frac{c^2}{g^2}\frac{g}{2} = \frac{c^2}{2g}$. Ein fallender Körper also, welcher mit c Meter Geschwindigkeit zur Erde kommt, muß $\frac{c^2}{2g}$ Meter hoch herabgefallen sein. So hoch muß also der mit c Meter Geschwindigkeit in die Höhe geworfene Körper gestiegen sein.

Er hat also den Widerstand, den ihm die Erdschwere entgegensetzt, auf einer Strecke von $\frac{c2}{2g}$ Meter überwunden. Wenn nun der Körper p Kilogr. wiegt, so ist der Widerstand der Erdschwere = p Kilogr. und folglich hat die lebendige Kraft des Körpers einen Widerstand von p Kilogr. auf einer Strecke von $\frac{c^2}{2g}$ Meter überwunden, d. h. eine Arbeit von $\frac{c^2p}{2g}$ Meterkilogr. verrichtet. D. i. als Formel geschrieben:

$$K = \frac{c^2p}{2g}$$

oder da das Gewicht $p = mg$ ist, wo m die Masse des Körpers bezeichnet, so ist auch

$$K = \frac{c^2 m}{2}.$$

Die lebendige Kraft eines Körpers ist also gleich dem Producte aus seinem Gewichte und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit dividirt durch die doppelte Beschleunigung der Erdschwere, oder, was dasselbe ist, gleich dem halben Producte aus seiner Masse und dem Quadrate seiner Geschwindigkeit.

Da es nun in Beziehung auf die Wirkungsfähigkeit eines bewegten Körpers gleichgültig ist, woher er seine Geschwindigkeit hat, oder was für eine Art von Widerstand er zu überwinden hat, und in welcher Richtung er sich bewegt, so gilt folgendes allgemeine Gesetz:

Jeder in Bewegung befindliche Körper, welcher p Kilogr. Gewicht und c Meter Geschwindigkeit hat, vermag eine Arbeit von $\frac{c^2 p}{2g}$ Meterkilogramm Arbeit zu verrichten.

In der von der lebendigen Kraft geleisteten Arbeit besitzen wir aber ein Maß für die Größe der lebendigen Kraft. Daher nennt man auch die Zahl $\frac{c^2 p}{2g}$ die lebendige Kraft des Körpers.

Man sagt also z. B., die lebendige Kraft eines Körpers, welcher 8 Kilogr. wiegt und 5 Meter Geschwindigkeit hat, ist $= \frac{25 \cdot 8}{2 \cdot 10} = 10$, d. h. der Körper vermag durch seine lebendige Kraft 10 Meterkilogramm Arbeit zu verrichten.

Ein Körper, der mit einem andern gleiche Geschwindigkeit, aber eine 6mal so große Masse als dieser hat, hat auch eine 6mal so große lebendige Kraft. Sind aber die Massen gleich und der eine hat eine 6mal so große Geschwindigkeit, so ist seine lebendige Kraft 36mal so groß.

Beispiel. Gesetzt, von einem Eisenbahnzuge, welcher auf einer horizontalen Strecke mit einer Geschwindigkeit von 10 Meter fährt, löse sich der letzte Wagen los; dieser wiege 150 Ctr. und der Reibungswiderstand an seinen Achsen und auf den Schienen betrage $\frac{1}{300}$ der Last, so läßt sich berechnen, wie weit der Wagen dem Zuge noch nachfolgen wird, ehe er stehen bleibt. Die Wirkungsfähigkeit eines sich bewegenden Körpers ist im Allgemeinen $\frac{c^2 p}{2g}$ Meterkilogramm, also hier $\frac{100 \cdot 150 \cdot 50}{2 \cdot 10}$ Meterkilogramm $= 37500$ Meterkilogramm, d. h. er vermag einen Widerstand von 1 Kilogramm 37500 Meter weit zu überwinden. Nun ist aber der zu überwindende Widerstand $= \frac{150 \cdot 50}{300} = 25$ Kilogr., also wird der Wagen $\frac{37500}{25} = 1500$ Meter weit gehen. Wäre die Bahnstrecke nicht horizontal, sondern hätte sie eine Steigung von $\frac{1}{5000}$, so würde die Erdschwere noch einen Widerstand von $\frac{150 \cdot 50}{500} = 15$ Kilogr. leisten. Der Gesammtwiderstand wäre demnach $(25 + 15)$ Kilogr., also würde der Wagen nur $\frac{37500}{25 + 15}$, das ist $937\frac{1}{2}$ Meter weit gehen.

Aufgabe. An einer Kunst-Ramme wiegt der Rammbär p Kilogr., das Seil, an welchem derselbe hängt, wickelt sich, nachdem es über die obere feste Rolle geleitet ist, auf eine Welle auf, deren Radius = r_1 Meter, das auf dieser Welle befestigte Zahnrad hat zum Radius r_2 Meter. In dieses greift ein kleineres Zahnrad ein, dessen Radius = r_3 Meter und dessen Welle wird durch eine Kurbel gedreht, deren Arm = r_4 Meter ist. Welchen Widerstand haben die an der Kurbel beschäftigten Arbeiter zu überwinden? Ferner, wie viel mechanische Arbeit haben sie verrichtet, wenn sie den Rammbär h Meter hoch gehoben haben? Wie groß ist dessen lebendige Kraft, wenn er aus jener Höhe herabgefallen ist? Ferner, wenn der einzurammende Pfahl q Kilogr. wiegt und durch einen Schlag s Meter tief in den Erdboden dringt, wie groß ist der Widerstand, den der letztere dem Eindringen entgegensetzt? Wenn dieser Widerstand v Kilogr. beträgt und man auf den ruhenden Pfahl ein Gewicht von v—q Kilogr. auflegte, was würde da geschehen? Was würde geschehen, wenn man dann noch ein Kilogr. Gewicht auflegte und der Widerstand des Erdbodens bei tieferem Eindringen des Pfahles sich nicht vergrößerte?

Eine mit der Hand geworfene Kugel bringt eine viel geringere Wirkung hervor, als eine geschossene. Eine Holzaxt wirkt desto stärker, je schneller sie bewegt wird; desgleichen ein Stock. Dieselbe Wassermenge wirkt auf ein Mühlrad desto stärker, je schneller sie fließt. Ein langsam fahrender Wagen richtet, wenn er irgendwo anstößt, weniger Schaden an, als ein Wagen, welcher sehr schnell fährt. Je höher ein Körper herabfällt, desto größer ist der Stoß, den er erleidet.

Ein kleines Beil und eine schwere Axt, ein leichtes Stöckchen und ein schwerer Knüttel, mit derselben Geschwindigkeit geführt, bringen einen sehr verschiedenen Effect hervor. Ein Stoß von einem an uns vorbeilaufenden Sackträger ist weit empfindlicher, als von einem laufenden Knaben. Bohnenstangen, welche auf einem Wagen gefahren werden, ertheilen mit ihren hinten über den Wagen hinausstehenden Enden den Vorübergehenden einen kaum merklichen Schlag, während Baumstämme unter sonst gleichen Umständen Arm und Bein zerschmettern. Warum ist man trotz aller Anstrengung nicht im Stande, einen Korkpfropfen eben so weit zu werfen, als einen gleich großen Stein? Der Zusammenstoß zweier Eisenbahnzüge richtet eine weit größere Verwüstung an, als der zweier einzelner Wagen, wenn die Geschwindigkeit in beiden Fällen gleich ist.

C. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze der flüssigen Körper.

Alle Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze, welche für feste Körper gelten, und bei welchen der Zusammenhang der Theile außer Betracht bleibt, z. B. die Fallgesetze, gelten auch für die flüssigen Körper. Es brauchen also hier nur diejenigen Erscheinungen betrachtet zu werden, bei welchen die leichte Verschiebbarkeit der Theile von Einfluß ist.

§ 49. Die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit ist eine horizontale Ebene.

Fig. 58.



§ 49. Die Oberfläche einer ruhenden Flüssigkeit bildet eine horizontale Ebene, oder, genauer, einen Kugelabschnitt, dessen Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erde ist.

In Gefäßen, überhaupt bei kleiner Oberfläche der Flüssigkeit, wo man die Richtungen der Erdschwere für die einzelnen Flüssigkeitstheilchen als parallel annehmen kann, ist die Oberfläche eine horizontale Ebene. Denn gesetzt, es befände sich (Fig. 58) auf der

Oberfläche der Flüssigkeit eine Erhöhung cabf, so würden die Theile über ab in verticaler Richtung auf die zwischen ab und cf liegenden drücken und diese würden nach beiden Seiten hin ausweichen. (Eine solche Erhöhung entsteht bisweilen, wenn man dem Gefäße einen Stoß giebt.) Die Oberfläche einer Flüssigkeit kann also keine Erhöhung behalten. — Beweise in derselben Art, daß sie keine Vertiefung behalten kann, wenn durch irgend eine Veranlassung eine solche entstanden ist, und daß die Oberfläche keine schiefe Ebene sein kann. An den Rändern der Gefäße ist die Richtung der Oberfläche wegen der Capillar-Attraction oder Depression eine etwas andere.

Alle größeren Wasserflächen, z. B. die Oberflächen der Seen und der Meere, sind Kugelabschnitte, deren Mittelpunkt der Mittelpunkt der Erde ist, d. h. die obersten Theile liegen alle gleich weit vom Mittelpunkte; denn läge irgend eine Wassermenge weiter vom Mittelpunkte der Erde entfernt, als eine danebenliegende, so bildete erstere eine Erhöhung. Deren alleroberste Theile würden dann in der Richtung des Erdradius auf die zunächst darunter liegenden drücken, und diese müßten nach allen Seiten hin ausweichen, also abfließen.

Eine ähnliche Schlußreihe macht es klar, warum frei fallende Flüssigkeitstheilchen kugelförmige Tropfen bilden.

Die Oberfläche des ruhenden Wassers heißt **Wasserspiegel**, **Niveau**.

Die Oberfläche der Flüsse ist eine schiefe Ebene.

Druck der Flüssigkeiten auf die Umfassungswände der Gefäße.

§ 50. Der Druck pflanzt sich gleichmäßig fort.

§ 50. **Erfahrungssatz.** Ist eine Flüssigkeit von allen Seiten eingeschlossen und es wird auf eine Stelle derselben ein Druck ausgeübt, so pflanzt sich derselbe gleichmäßig fort, d. h. jeder Theil der Umfassungswände, sowie jede Flüssigkeitsschicht, die gleiche Größe mit der gedrückten Stelle hat, erleidet auch denselben Druck als diese.

Wird das in dem Gefäße abdcfg (Fig. 59) eingeschlossene Wasser durch den Kolben fg mit einer Kraft von 10 Kilogr. gedrückt, und ist die Grund-

Fig. 59.

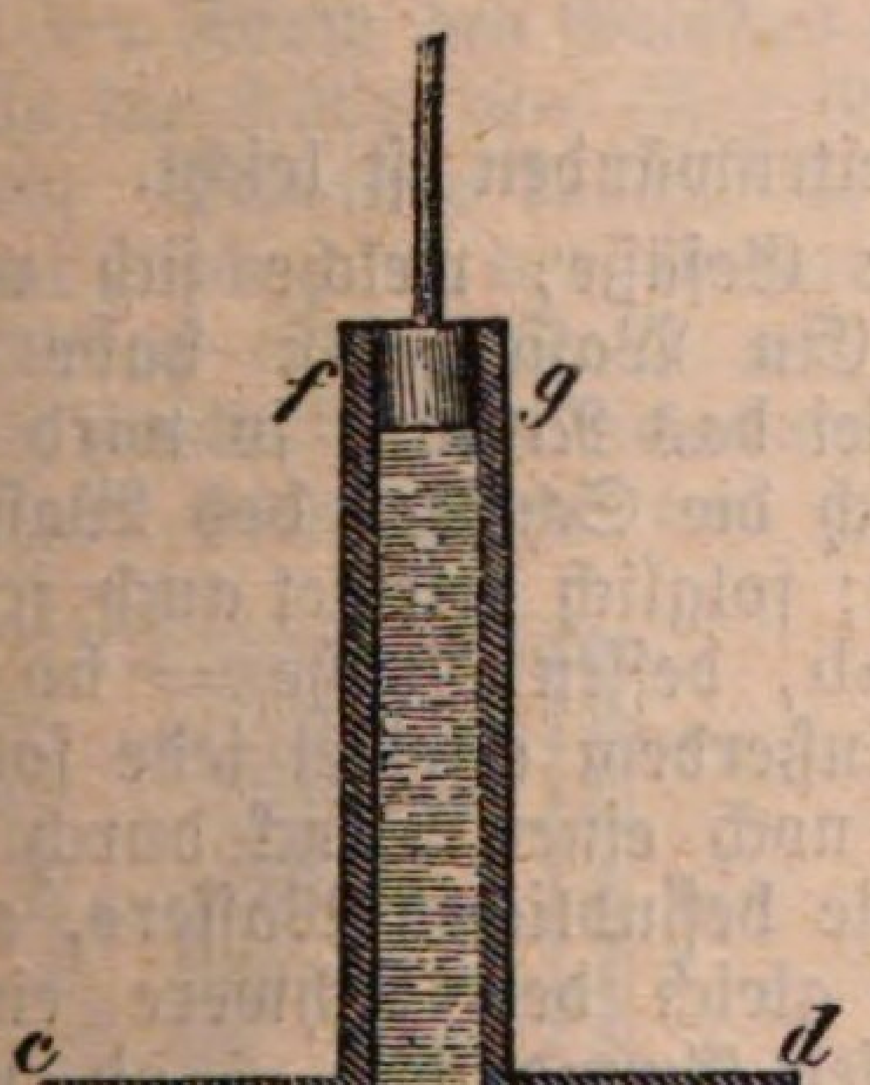
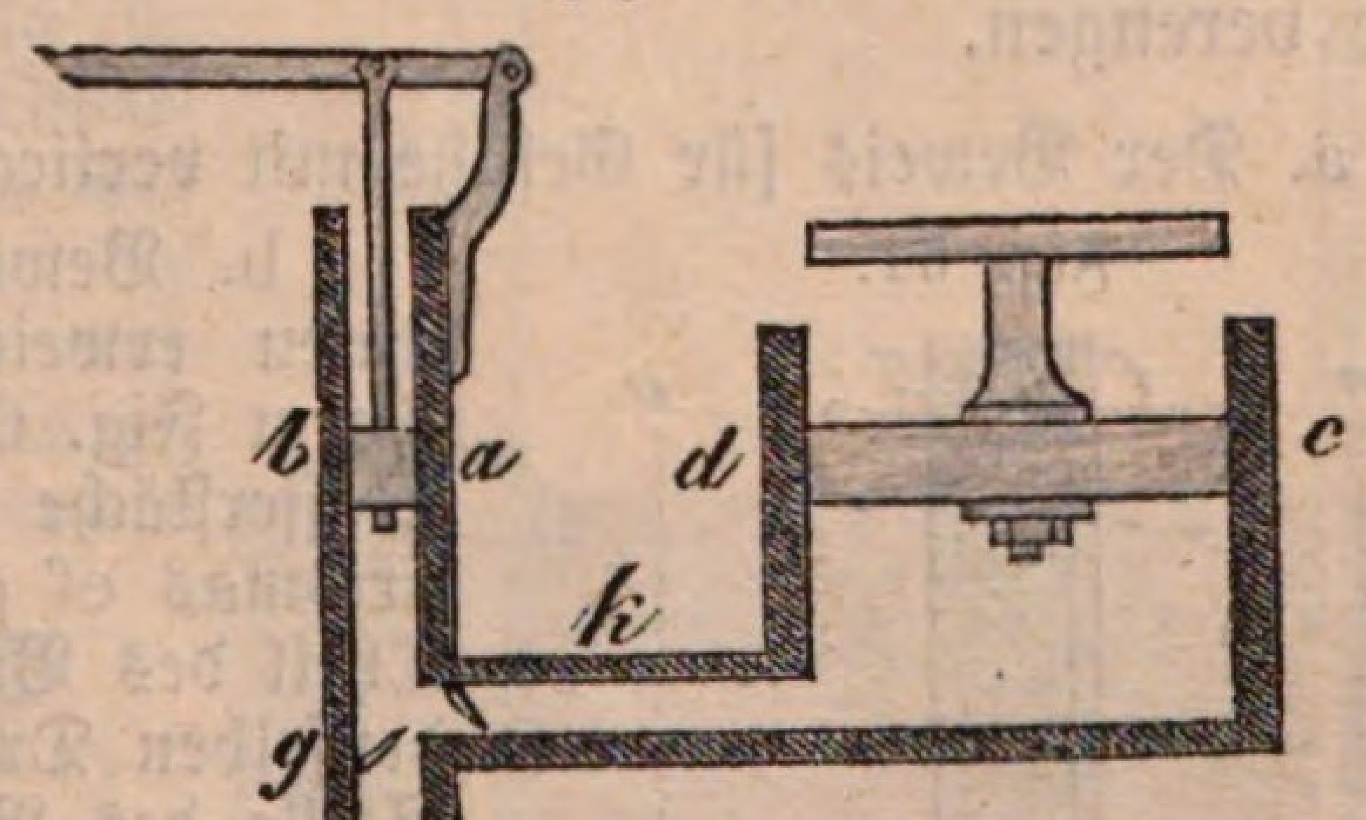


Fig. 60.



fläche des Kolbens = 1 Quadratdecimeter, so erleidet jeder Quadratdecimeter der Umfassungswände einen Druck von 10 Kilogr. Ist eine Flasche so zugepfropft, daß der Pfropf auf die darin befindliche Flüssigkeit stößt, oder daß nur ein wenig Luft dazwischen ist, so bedarf es nur eines geringen Schlages auf ersteren, um die Flasche zu zersprengen.

Die hydraulische Presse (Fig. 60) ist eine weite und eine enge Röhre, welche durch eine dritte in Verbindung stehen und in deren jeder sich ein Kolben befindet. Wird der Kolben ab mit einer Kraft von 1 Ctr. nach unten gedrückt, und hat der Kolben cd eine mmal so große Grundfläche, als ab, so erleidet cd einen Druck von m Ctr. nach oben.

Da aber durch ein einmaliges Niederdrücken des Kolbens ab der Kolben dc sich nur sehr wenig in die Höhe bewegt, so ist die engere Röhre in ein Saugrohr verlängert, welches in einem Gefäße mit Wasser steht, und bei g und k ein Ventil angebracht. Was geschieht nun bei öfterem Auf- und Niederdrücken des Kolbens ab? (siehe § 65, 9.)

Aus dem oben angeführten Versuche erkennt man außer der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes noch die Eigenthümlichkeit der flüssigen Körper, daß sie sich fast gar nicht zusammendrücken lassen.

Bemerkung. Durch genaue Versuche hat Regnault gefunden, daß wenn z. B. das Gefäß (Fig. 59) Wasser enthält und auf den Kolben ein Druck ausgeübt wird, welcher gleich ist dem Gewichte einer Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe und deren Grundfläche gleich der des Kolbens ist, das Wasser um 50 Milliontel seines Volumens zusammengedrückt wird, Quecksilber um 3 Milliontel.

Aus jenem Gesetze der gleichmäßigen Fortpflanzung des Druckes ergiebt sich die Stärke des Druckes, den eine Flüssigkeit auf den Boden und die Seitenwände ausübt.

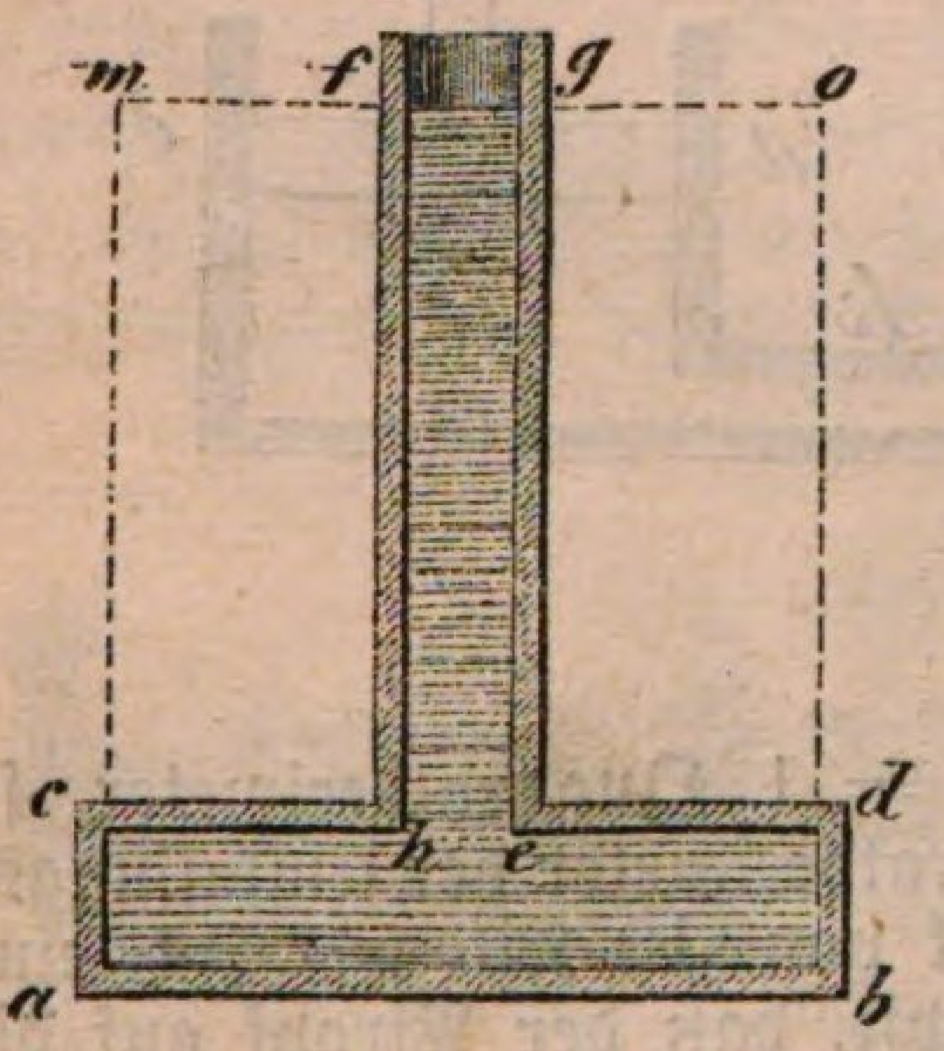
§ 51. Größe des Bodendruckes.

§ 51. Der Druck einer Flüssigkeit auf den horizontalen Boden des Gefäßes ist gleich dem Gewichte eines Prisma's aus dieser Flüssigkeit, dessen Grundfläche gleich dem Boden und dessen Höhe gleich der Entfernung des Bodens vom Niveau ist.

Dies gilt für Gefäße jeglicher Form, sowohl für Gefäße mit verticalen Seitenwänden, als auch solche, welche sich nach unten erweitern oder verengen.

a. Der Beweis für Gefäße mit verticalen Seitenwänden ist leicht.

Fig. 61.



b. Beweis für Gefäße, welche sich nach unten erweitern. Ein Wassergefäß habe die Form Fig. 61, fg sei das Niveau, so wird die Wasserfläche eh durch die Schwere des Wasserprismas ef gedrückt; folglich erleidet auch jeder Theil des Bodens ab, dessen Größe = he ist, denselben Druck. Außerdem erleidet jede solche Stelle des Bodens noch einen Druck durch die Schwere des in abdc befindlichen Wassers, also noch einen Druck gleich der Schwere eines Wasserprismas, dessen Grundfläche = eh und dessen Höhe = bd ist u. s. w.

Anmerkung. In gleicher Weise läßt sich zeigen, daß die Stelle de einen Druck erleidet, welcher gleich der Schwere eines Flüssigkeits-Prismas ist, dessen Grundfläche = de und dessen Höhe = eg ist.

Ebenso läßt sich der Satz für Gefäße von der Form wie sie Fig. 62 darstellt, beweisen. Gefäße, welche sich allmählich nach unten erweitern, können als solche betrachtet werden, deren Seitenwände unendlich viele solche Abstufungen haben, wie das vorangehende deren zwei hat (Fig. 63).

Fig. 62.

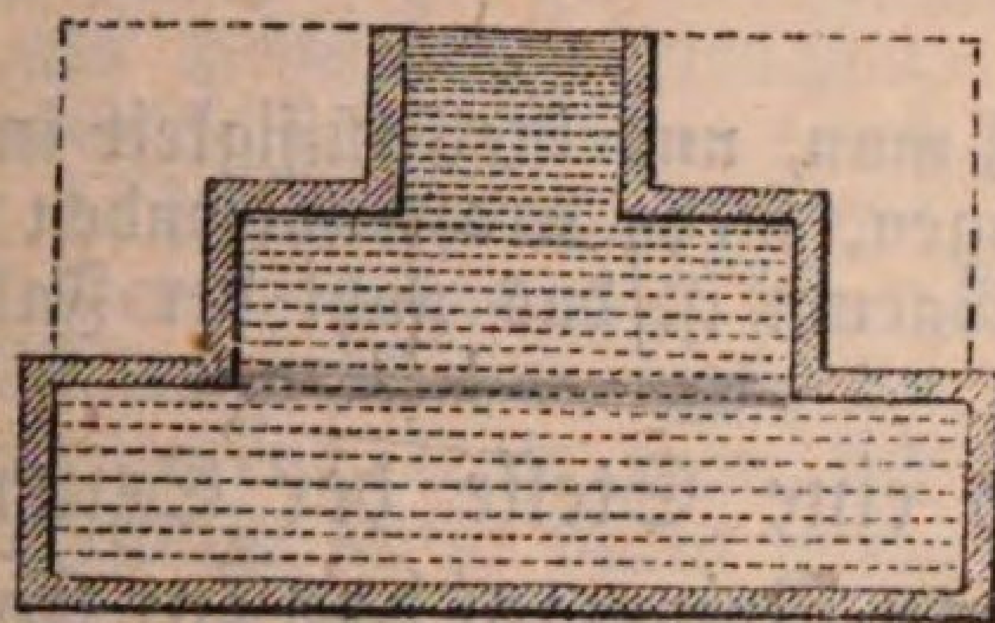
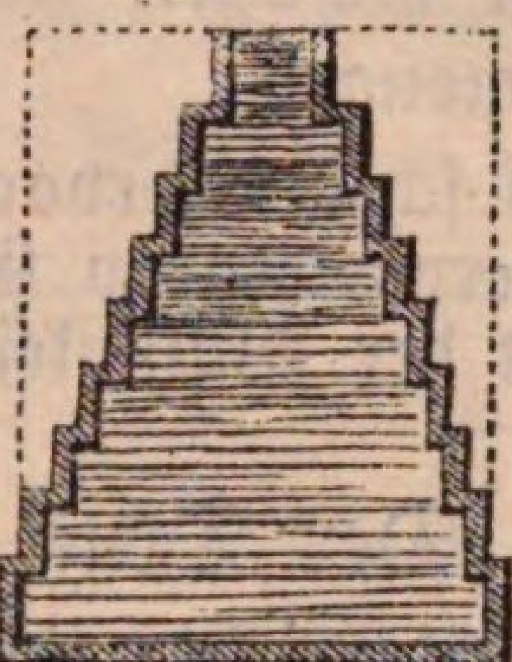


Fig. 63.



c. Beweis für Gefäße, welche sich nach unten verengen. In dem Gefäße (Fig. 64) wird das Wasserprisma abcf von der Fläche ab getragen und nur das Prisma chdg drückt mit seiner Schwere auf den Boden des Gefäßes, auf dg.

Fig. 64.

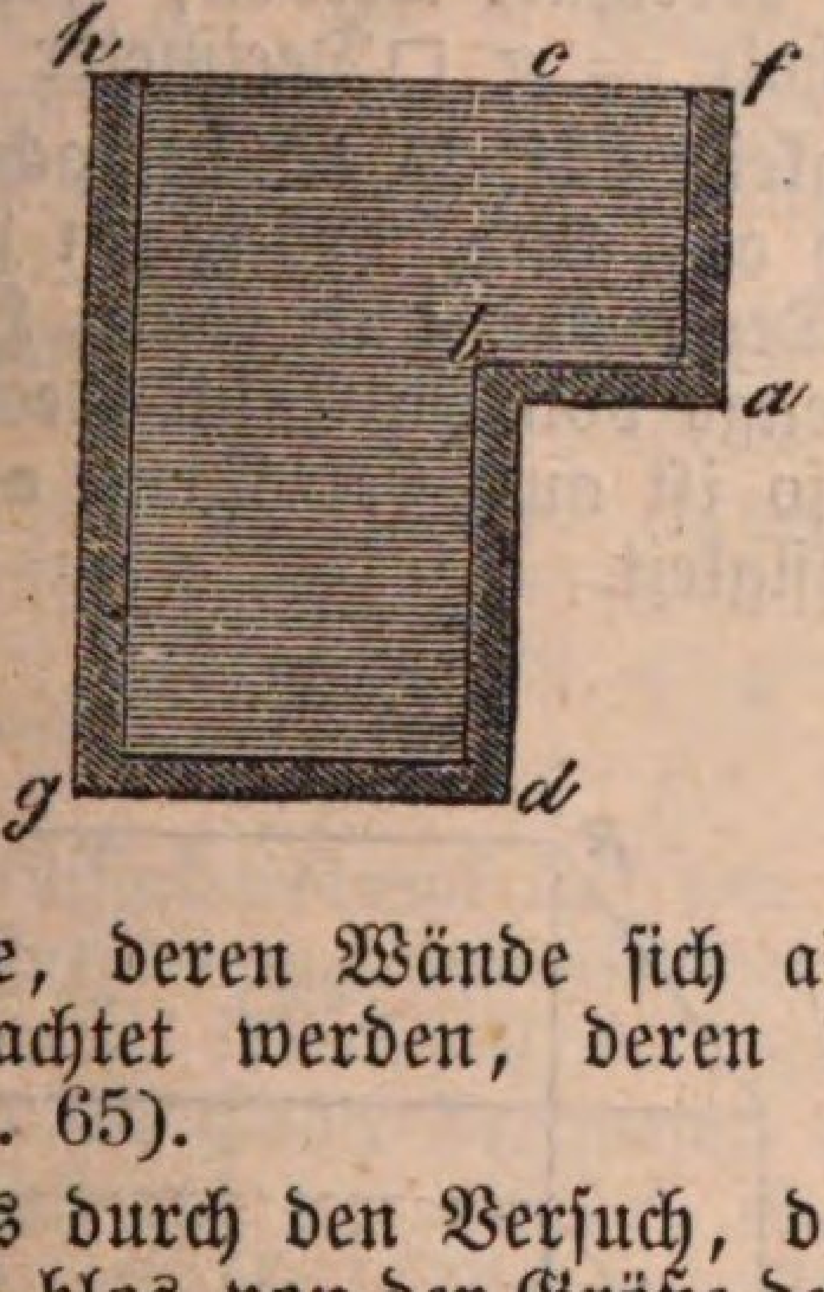
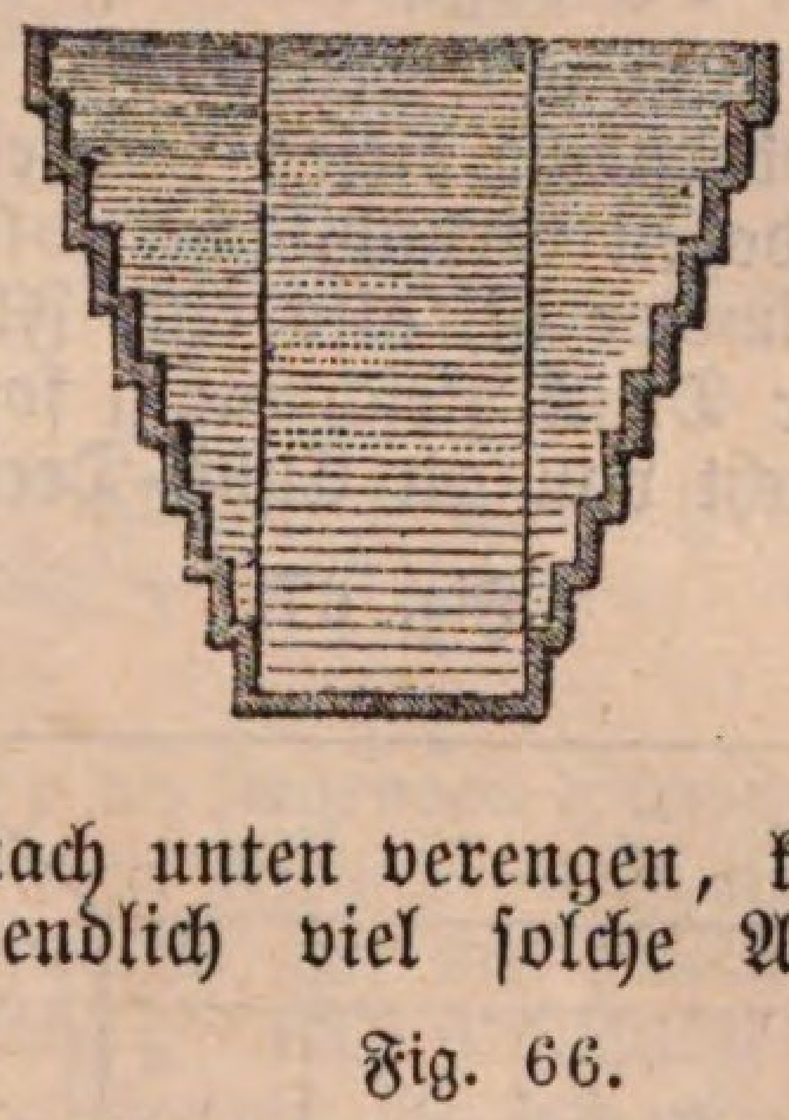


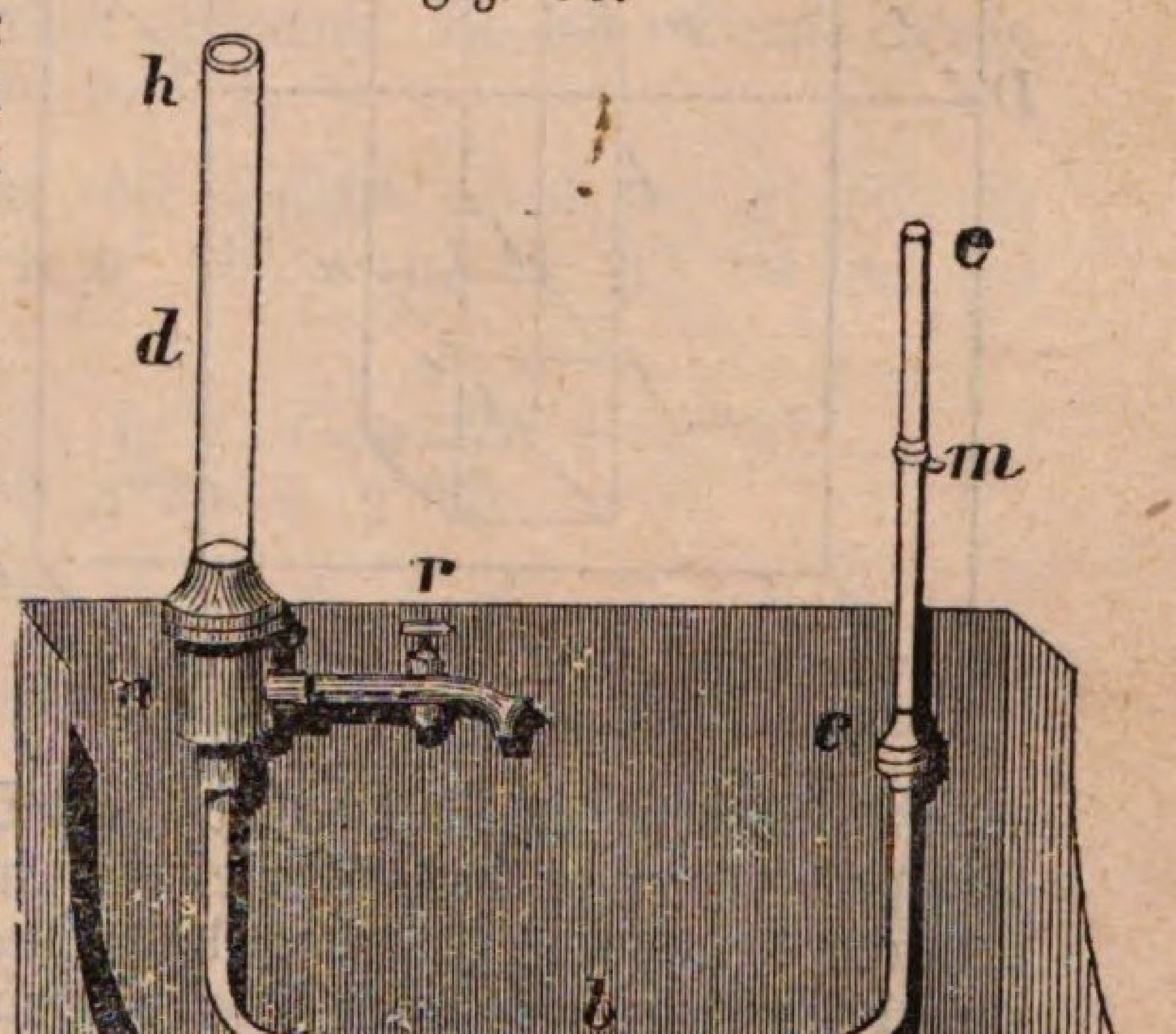
Fig. 65.



Gefäße, deren Wände sich allmählich nach unten verengen, können als solche betrachtet werden, deren Wände unendlich viel solche Abstufungen haben (Fig. 65).

Beweis durch den Versuch, daß der Bodendruck blos von der Größe desselben und seiner Entfernung vom Niveau, nicht von der Form des Gefäßes abhängig ist: Fülle die Röhre abc (Fig. 66) mit Quecksilber. Schraube darauf bei a das Gefäß d und auf der anderen Seite die Röhre e an, fülle d mit Wasser und merke mittelst des Schiebers m, bis zu welcher Höhe dann das Quecksilber in

Fig. 66.





der Röhre e gestiegen ist. Lasse dann durch den Hahn r das Wasser ab, schraube statt d die Gefäße z, y, x auf und fülle sie bis zu gleicher Höhe

mit Wasser, wie d, so steigt auch das Quecksilber in e immer bis zu derselben Höhe.

Hiernach ist der Bodendruck in Gefäßen mit verticalen Seitenwänden ebenso groß, in unten sich erweiternden Gefäßen größer, in unten sich verengenden Gefäßen kleiner, als das Gewicht der darin befindlichen Flüssigkeitsmenge.

Daraus scheint hervorzugehen, daß man, um eine Flüssigkeit in einem sich nach unten erweiternden Gefäße zu tragen, mehr Kraft anwenden müsse, als das Gewicht der Flüssigkeit beträgt. Warum ist das nicht der Fall?

§ 52. Größe des Druckes auf die Seitenwände.

§ 52. Der Druck auf irgend eine Stelle der Seitenwand ist gleich dem Gewichte eines Flüssigkeits-Prismas, das zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Entfernung des Schwerpunktes derselben vom Niveau hat.

(Fig. 67.) AB sei ein Gefäß mit einer Flüssigkeit, deren Niveau CD. Es soll der Druck auf das Quadrat abcd berechnet werden, welches in der Gefäßwand FB liegt, und dessen Flächeninhalt = g □Decimeter sei.

abcd kann als Seitenfläche des Flüssigkeitswürfels cf betrachtet werden. Auf die Oberfläche dieses Würfels, nämlich auf abfe, drückt ein Flüssigkeits-Prisma, dessen Grundfläche abfe = g □Decimeter und dessen Höhe = fm = h Decimeter ist, also eine Flüssigkeitsmenge von gh Cubik-Decimeter, und da sich der Druck gleichmäßig fortpflanzt, so ist auch der Druck auf abdc = dem Gewicht von gh Cubik-Decimeter Flüssigkeit.

Fig. 67.

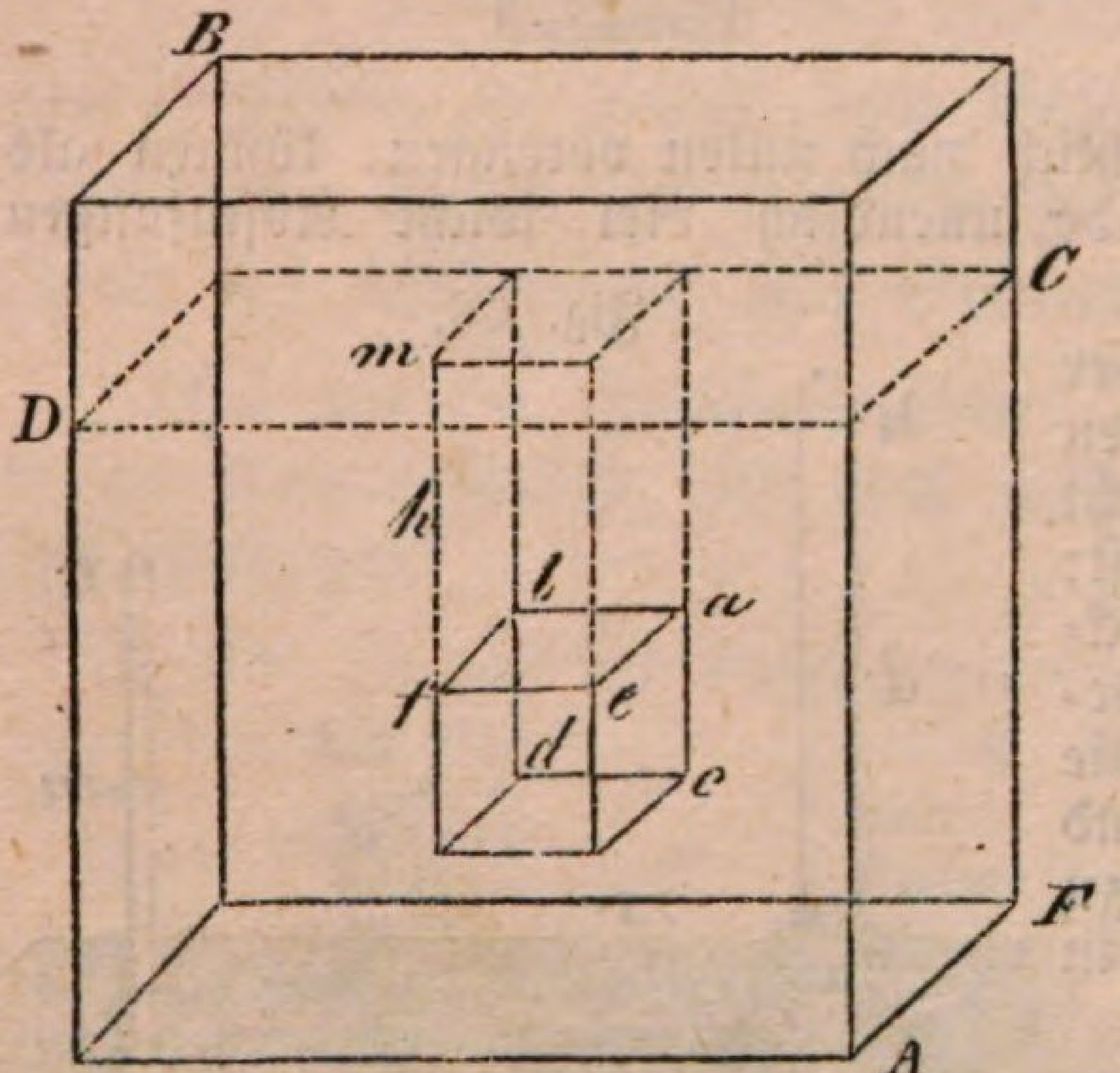
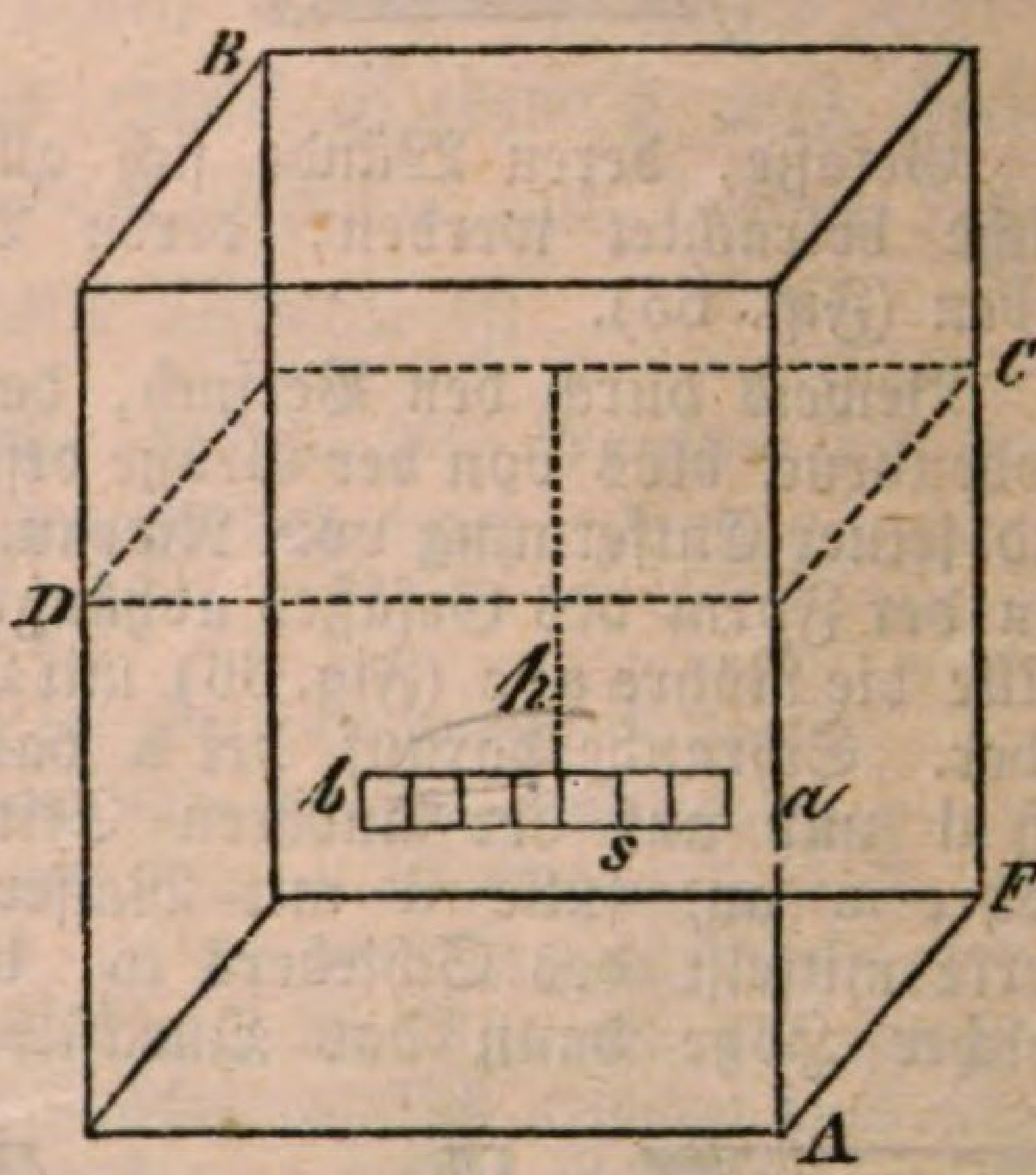


Fig. 68.

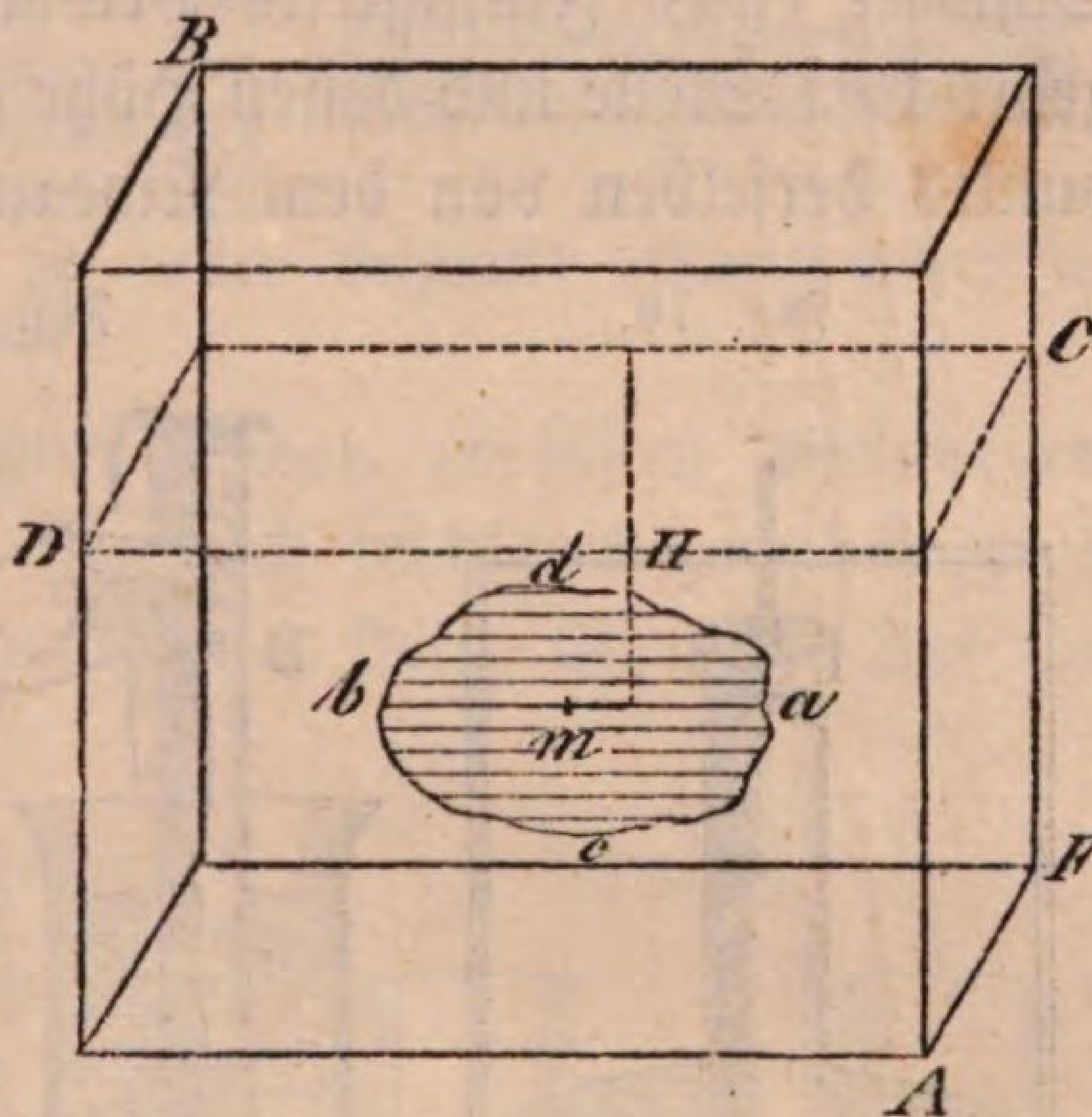


Außerdem erleidet aber das Quadrat abcd noch einen Druck von der Flüssigkeitsmenge des Würfel cf, indem die oberen Theile desselben auf die unteren drücken. Ist aber das Quadrat abcd und also auch der Würfel cf unendlich klein, so kann dieser Druck vernachlässigt werden, und es ist der Druck auf abcd blos gh Cubik-Decimeter Flüssigkeit. Ebenso ist der Druck auf einen horizontalen, unendlich schmalen Streifen ab (Fig. 68) der Seitenwand, wenn sein Flächeninhalt = s □Decimeter und seine Entfernung vom Niveau = h Decimeter ist, = dem Gewichte von sh Cubik-Decimeter Flüssigkeit. Denn denkt man sich den Streifen ab in unendlich kleine Quadrate zerlegt, von denen jedes = g sei, so ist der Druck auf jedes derselben = dem

Gewichte von gh Cubik-Decimeter Flüssigkeit; und enthält der Streifen n solcher Quadrate, so daß ab = n . g, so ist der Gesammtdruck auf ab = n . g . h, d. i. = sh Cubik-Decimeter Flüssigkeit.

Es soll nun der Druck auf eine beliebige Fläche der Seitenwand FB, etwa auf adbc (Fig. 69), berechnet werden. Ist m der Schwerpunkt von adbc und ab eine durch m gelegte horizontale Linie, so müssen die beiden Theile adb und acb, als Hebelarme betrachtet, einander das Gleichgewicht halten (nach § 29, 1), d. h. die Fläche abcd würde, wenn man sie auf eine feste Linie, welche die Richtung ab hat, legte, im Gleichgewicht stehen; denkt man sich demnach die Fläche adbc durch horizontale Linien in unendlich schmale Streifen getheilt, so müssen die statischen Momente der über ab liegenden Streifen zusammen den statischen Momenten der unter ab liegenden Streifen gleich sein. Ist nun jeder folgende Streifen von ab um h Decimeter weiter entfernt, als jeder vorangehende, und sind die Flächenräume der Streifen über ab = g′ g″ g‴ . . . . die Flächenräume der Streifen unter ab = g′ g″ g‴ . . . . so sind die statischen Momente der oberen Streifen = g′h, g″2h, g‴3h, g⁗4h . . . , die der unteren = g′h, g″2h, g‴3h, g⁗4h . . . . Folglich g′h + g″2h + g‴3h + g⁗4h . . . . = g′h + g″2h + g‴3h + g⁗4h . . . .

Fig. 69.



Der Flüssigkeitsdruck auf den ersten, über ab liegenden Streifen ist aber, wenn die Entfernung des Schwerpunktes m vom Niveau = H ist, = dem Gewichte von g′ (H—h) Cub.-Decimeter Flüssigkeit, auf den zweiten = dem von g″ (H—2h) Cubik-Decimeter, auf den dritten g‴ (H—3h) Cubik-Decimeter u. s. w., und auf die unter ab liegenden Streifen ist der Druck ebenso g′ (H + h), g″ (H + 2h), g‴ (H + 3h) u. s. f.

Folglich ist der Gesammtdruck auf die Fläche abcd = g′ (H—h) + g″ (H—2h) + g‴ (H—3h) . . . . + g′ (H + h) + g″ (H + 2h) + g‴ (H + 3h) . . . .

D. i. g′H + g″H + g‴H . . . . — (g′h + g″2h + g‴3h . . . .) + g′H + g″H + g‴H . . . . + (g′h + g″2h + g‴3h . . .)

D. i. = (g′ . + g″ + g‴ . . . . + g′ + g″ + g‴ . . .) H + o.

D. i. = GH Cubik-Decimeter, wo G den Flächenraum von abcd bezeichnet.

Wie groß ist der Wasserdruck auf ein Schleusenthor, welches 4 Meter breit und an welchem der obere Wasserspiegel 2 Meter über dem unteren steht, da 1 Cubik-Meter Wasser 1000 Kilogr. wiegt? Wie groß ist der Druck auf jedes der Bretter, welches man bei Wassersgefahr auf die Dämme aufsetzt, wenn das Brett 5 Decimeter hoch und 2 Meter lang ist?*)

Das Segnersche Wasserrad (s. umstehend Fig. 70).

---

*) Siehe hinten: französisches Maß.

Der Druck auf die Seitenwände eines Gefäßes ist also unabhängig von dessen Weite. Die Gesetze über Boden- und Seitendruck lassen sich hiernach in Folgendes zusammenfassen:

Jeder Theil der Umfassungswände eines Gefäßes erleidet von der darin befindlichen Flüssigkeit einen Druck, welcher gleich ist der Schwere eines Flüssigkeits-Prismas, dessen Grundfläche gleich der gedrückten Stelle und dessen Höhe gleich der Entfernung des Schwerpunkts derselben von dem Niveau ist.

Druck auf die Flächen eines eingetauchten Körpers.

Fig. 70.

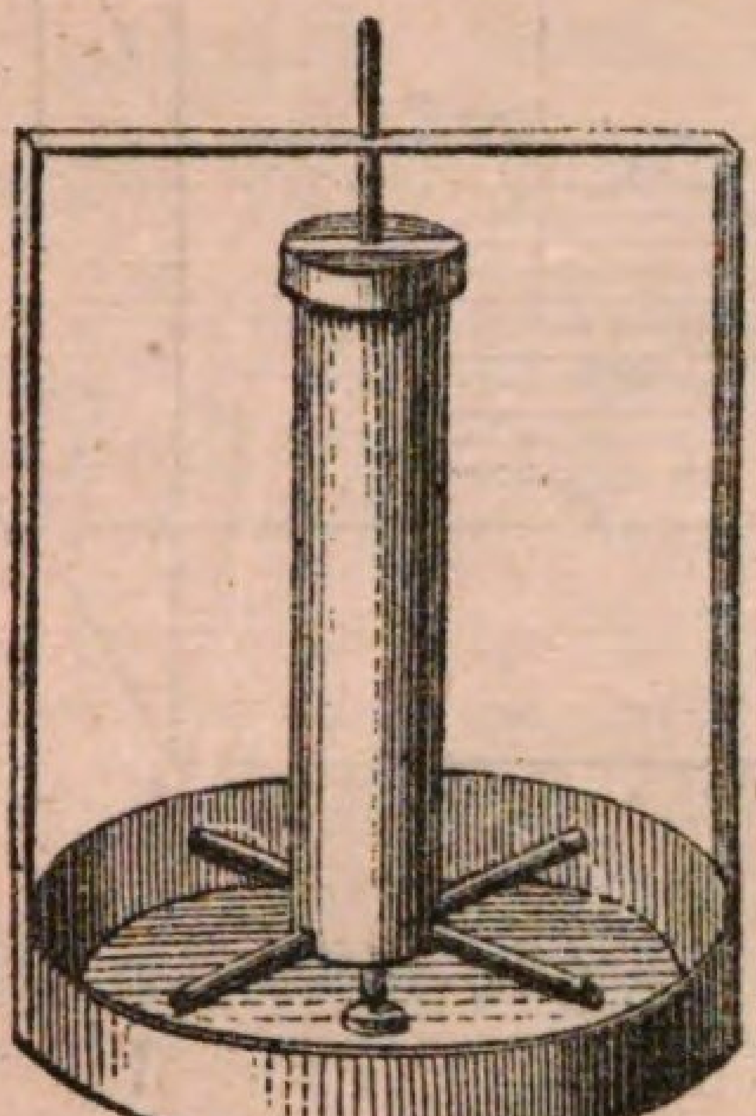
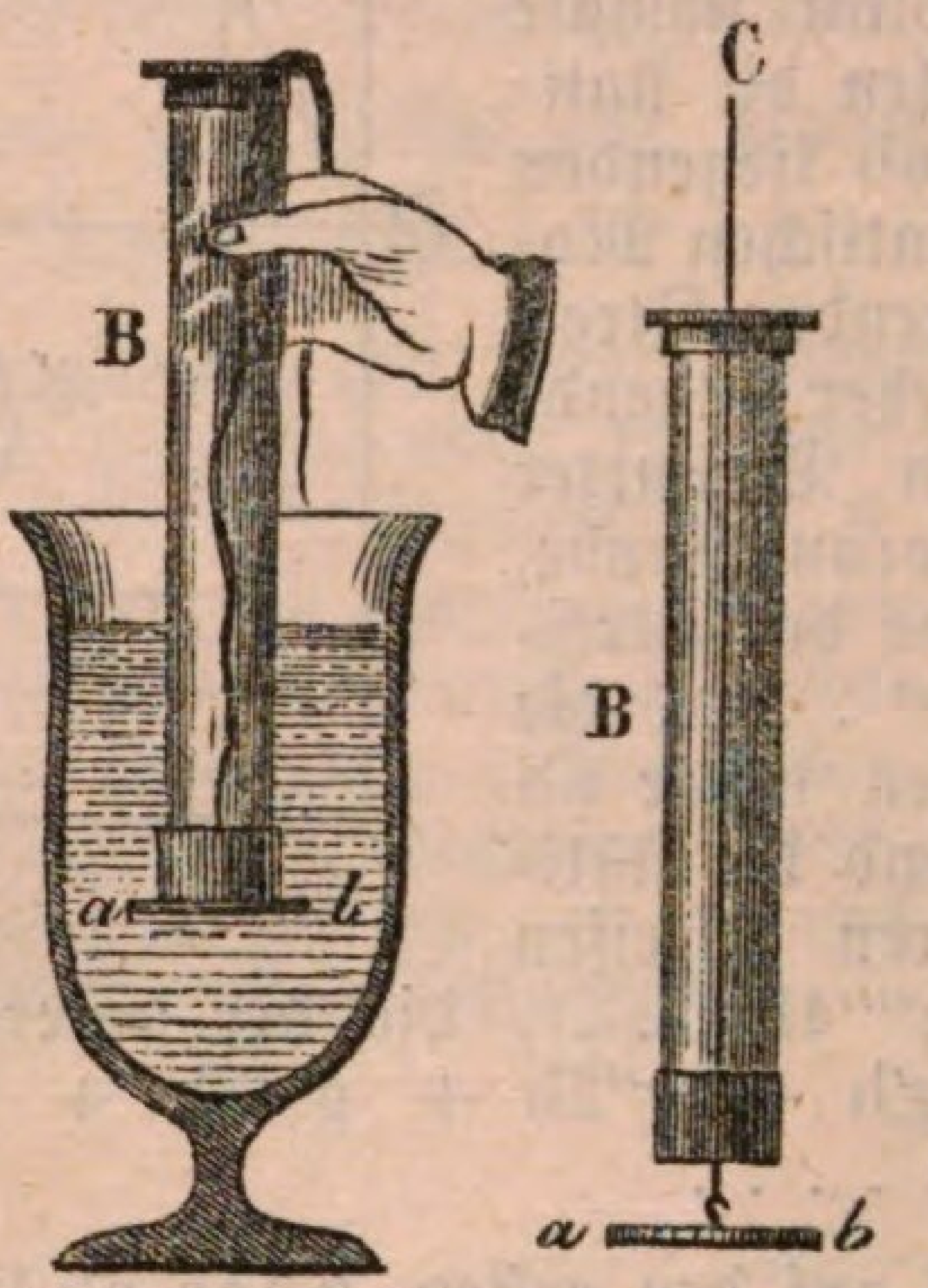


Fig. 71.



Dasselbe gilt für die Flächen eines jeden in eine Flüssigkeit getauchten Körpers und für jede Flüssigkeitsschicht.

Wird die abgeschliffene Glasplatte ab (Fig. 71) vermittelst des Fadens C an den Glascylinder B gedrückt, und nun der Cylinder in Wasser getaucht, so kann man den Faden loslassen, ohne daß ab zu Boden sinkt. Gießt man dann Wasser in den Cylinder, so sinkt ab, wenn das Wasser in B das Niveau des im Gefäß befindlichen Wassers fast erreicht hat.

Wie groß ist der Druck auf den Boden eines Kahnes, wenn sein Flächeninhalt = g Quadratmeter und der Kahn k Meter tief im Wasser geht und 1 Cubik-Meter Wasser 1002 Kilogr. wiegt? Die Seethiere, die Leute in den Taucherglocken erleiden einen desto stärkeren Druck, je tiefer sie im Wasser sind.

Hieraus lassen sich nun die Erscheinungen erklären, welche eintreten, wenn man zwei mit Flüssigkeiten gefüllte Gefäße in Verbindung setzt, zweitens, wenn man in den Boden oder die Seitenwand eines Gefäßes eine Oeffnung macht, und drittens, wenn man einen festen Körper in eine Flüssigkeit taucht.

§ 53. Communicirende Gefäße.

§ 53. **Communicirende Gefäße.** Erklärung. Gefäße, welche so in Verbindung stehen, daß eine Flüssigkeit aus dem einen in das andere fließen kann, heißen communicirende Gefäße.

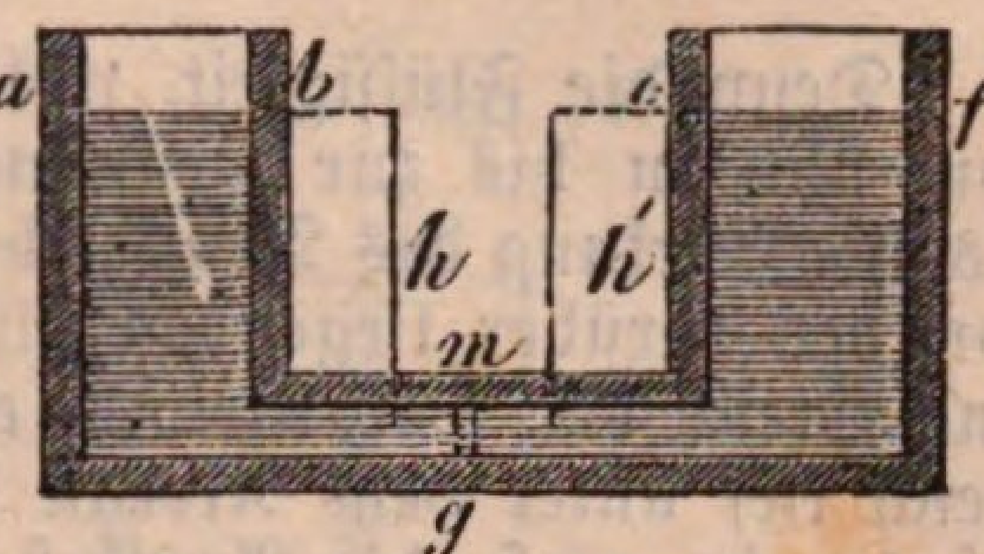
Niveauhöhe gleichartiger Flüssigkeiten,

1) Sind communicirende Gefäße mit einerlei Flüssigkeit gefüllt, so steht das Niveau in ihnen in derselben Horizontal-Ebene.

Beweis. ab und cf (Fig. 72) seien die beiden Niveaus, mg eine verticale Flüssigkeitsschicht in der Verbindungsröhre; deren Schwerpunkt sei von ab um h, von cf um h′ entfernt, so ist der Druck auf die eine Seite von mg

= mg . h, auf die andere Seite = mg . h′. Da nun die Flüssigkeit in Ruhe steht, so muß mg . h = mg . h′ sein, folglich h = h′.

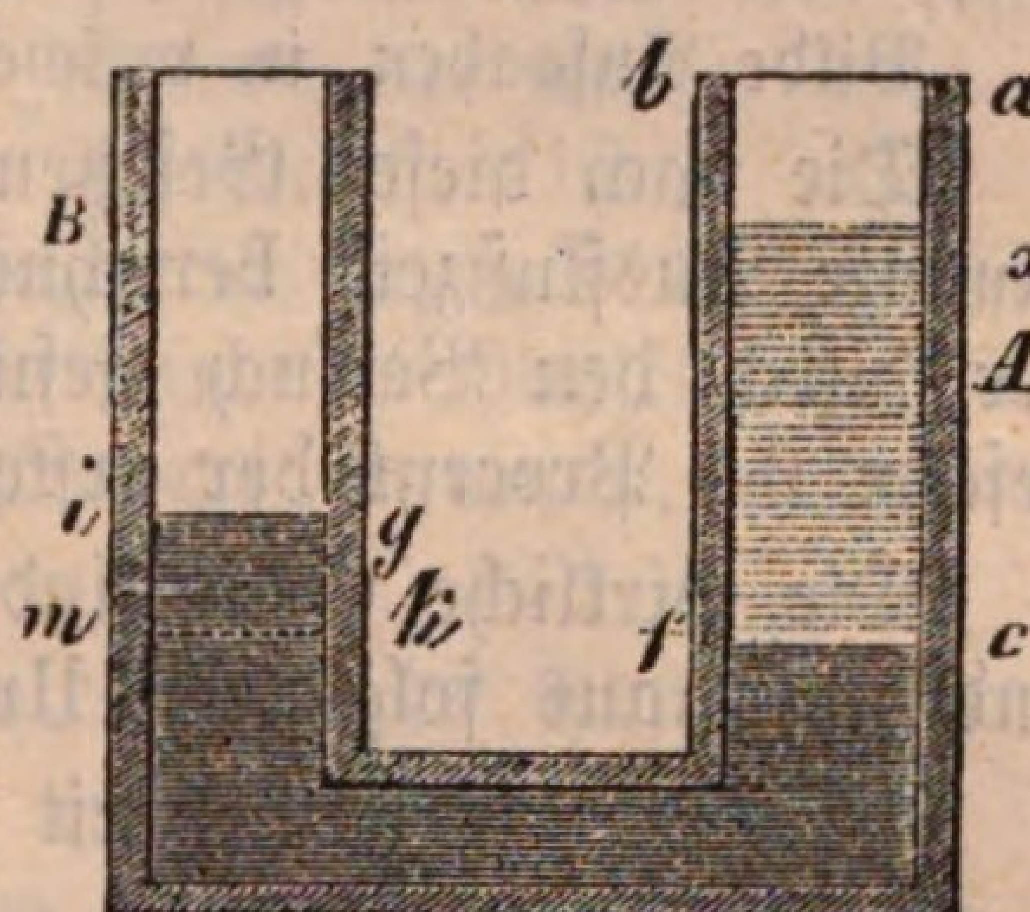
Fig. 72.



Wasser-Leitungen. Standmesser, gläserne Röhren, welche an Gefäße angesetzt sind, um den Stand der Flüssigkeiten in ihnen zu erkennen. Standbrunnen, in denen das Wasser stets dieselbe Höhe hat, stehen gewöhnlich mit einem nahen Flusse in Verbindung, z. B. der Soolbrunnen in Halle mit der Saale. Bei großem Wasser füllen sich die in der Nähe der Flüsse liegenden Keller. Warum gewöhnlich erst dann, wenn das Wasser im Flusse zu fallen beginnt? Grundwasser auf Wiesen, die durch Dämme geschützt sind.

2) Befinden sich in communicirenden Gefäßen verschiedene Flüssigkeiten, so ist die Höhe der specifisch leichteren n mal so groß, wenn ihr specifisches Gewicht n mal so klein ist, als das der anderen. ungleichartiger Flüssigkeiten.

Fig. 73.



Beweis. (Fig. 73.) Die Verbindungsröhre der beiden Gefäße A und B sei mit Quecksilber gefüllt, welches in dem Gefäße A bis cf, in B bis gi stehe; von cf bis x enthalte das Gefäß A Soole. Denkt man sich die Ebene cf bis zum Gefäße B erweitert, so steht das Quecksilber unter cf und km im Gleichgewicht (nach Gesetz 1). Der Druck der Soole auf die Fläche cf beträgt, wenn ihre Größe = q Quadrat-Decimeter, ihre Entfernung von x = h Decimeter, das specifische Gewicht der Soole = s, das Gewicht eines Cubik-Decimeter Wasser = 1 Kilogramm ist, q . h . s Kilogramm.

Dieser Druck pflanzt sich gleichmäßig auf die Fläche km fort. Er beträgt also auf diese, wenn sie r mal so groß ist, als cf, r . q . h . s Kilogramm. Der Druck der Quecksilbermenge ki auf km beträgt aber, wenn die Entfernung zwischen km und gi = H Decimeter und das specifische Gewicht des Quecksilbers = ns ist, r . q . h . ns Kilogramm. Sollen nun die Flüssigkeiten in Ruhe sein, so muß der Druck auf die Fläche km von unten und von oben derselbe sein. Es muß also ein:

$$rqhs = rqHns,$$
$$\text{d. i. } h = n . H.$$

Beide Gesetze gelten, mögen die Gefäße von gleicher oder ungleicher Weite sein, mögen sie vertical oder schief stehen.

Denn die Beweise für beide Gesetze sind ohne Rücksicht auf ihre Stellung, der erste Beweis auch ohne Rücksicht auf ihre Weite bewiesen; in dem Beweise für das zweite ist aber die Weite durch allgemeine Zahlzeichen ausgedrückt; also ist auch hier die Weite als beliebig angenommen.

Gesetze des Ausfließens.

§ 54. Durch eine Oeffnung des Bodens oder der Seitenwand eines Gefäßes fließt die Flüssigkeit mit der Geschwindigkeit aus, § 54. Geschwindigkeit der ausfließenden Flüssigkeit.

welche ein vom Niveau bis zur Oeffnung frei fallender Körper erreicht;

$$\text{d. i. } c = \sqrt{2hg}.$$

Denn die Flüssigkeit, welche durch eine Bodenöffnung fließt, fällt wirklich vom Niveau bis zur Oeffnung. Man kann aber diese Geschwindigkeit auch als die Wirkung des Druckes betrachten, welchen die Flüssigkeit an der Oeffnung von der darüber liegenden Flüssigkeitsmenge erleidet. Da nun der Druck auf eine Stelle der Seitenwand ebenso groß ist, als auf eine ebenso große und gleich tief unter dem Niveau liegende Stelle des Bodens (eines anderen Gefäßes), so muß die Ausflußgeschwindigkeit aus einer Seitenöffnung eben so groß sein, als aus einer Bodenöffnung, wenn sie mit dieser gleiche Tiefe unter dem Niveau hat; die Geschwindigkeit muß also auch dieselbe sein, welche ein vom Niveau bis zur Oeffnung frei fallender Körper erreicht. Tritt der Wasserstrahl horizontal aus, so muß er nach den Wurfgesetzen eine Parabel beschreiben.

Aufgabe 1. Wie viel Wasser fließt aus einer q Quadrat-Decimeter großen Oeffnung, welche sich h Decimeter unter dem Niveau befindet, in t Secunden?

2. Wie groß muß eine h Decimeter unter dem Niveau liegende Oeffnung sein, damit sie in t Secunden m Cubik-Decimeter Flüssigkeit gebe?

Bilde Aufgaben, in welchen t oder h unbekannt ist.

Hindernisse der Bewegung beim Ausfließen.

Die nach diesen Gesetzen für eine bestimmte Oeffnung und eine bestimmte Ausflußzeit berechnete Flüssigkeitsmenge stimmt aber nicht mit der durch den Versuch gefundenen überein. Letztere beträgt nur ungefähr 64 Procent der ersteren.

Die wirkliche Geschwindigkeit ist also geringer, als die berechnete, und zwar aus folgenden Ursachen:

1) Weil die Flüssigkeit an den Wänden der Oeffnung adhärirt.

2) Weil die flüssigen Körper nicht absolut flüssig sind. (Je dickflüssiger ein Körper ist, desto geringer die Ausflußgeschwindigkeit.)

3) Weil die vom Niveau bis zur Oeffnung fallende Flüssigkeitsmenge von den seitwärts sich befindenden Flüssigkeitstheilchen in der Bewegung gehemmt wird.

Erläuterung zu Nr. 3. Gießt man aus einem Gefäße Wasser, so wird in einiger Entfernung der Strahl dünner und noch weiter unten zerreißt er in Tropfen. Das kommt daher, weil die unteren Theile des fallenden Wassers eine größere Geschwindigkeit haben, als die oberen. Ganz dieselbe Erscheinung würde nun innerhalb eines Gefäßes mit der vom Niveau bis zur Oeffnung fallenden Flüssigkeit eintreten, wenn nicht die durch das Dünnerwerden und Zerreißen des Strahls entstehenden Lücken durch die seitwärts im Gefäße befindlichen Flüssigkeitstheilchen ausgefüllt würden. Durch diese aber wird die Geschwindigkeit des fallenden Wassers vermindert. Aus dieser Betrachtung ergiebt sich auch, erstens, warum die Differenz zwischen der berechneten und beobachteten Ausflußmenge desto größer ist, je tiefer die Oeffnung unter dem Niveau; zweitens, warum durch Ansatzröhren die wirkliche Ausflußmenge größer wird.

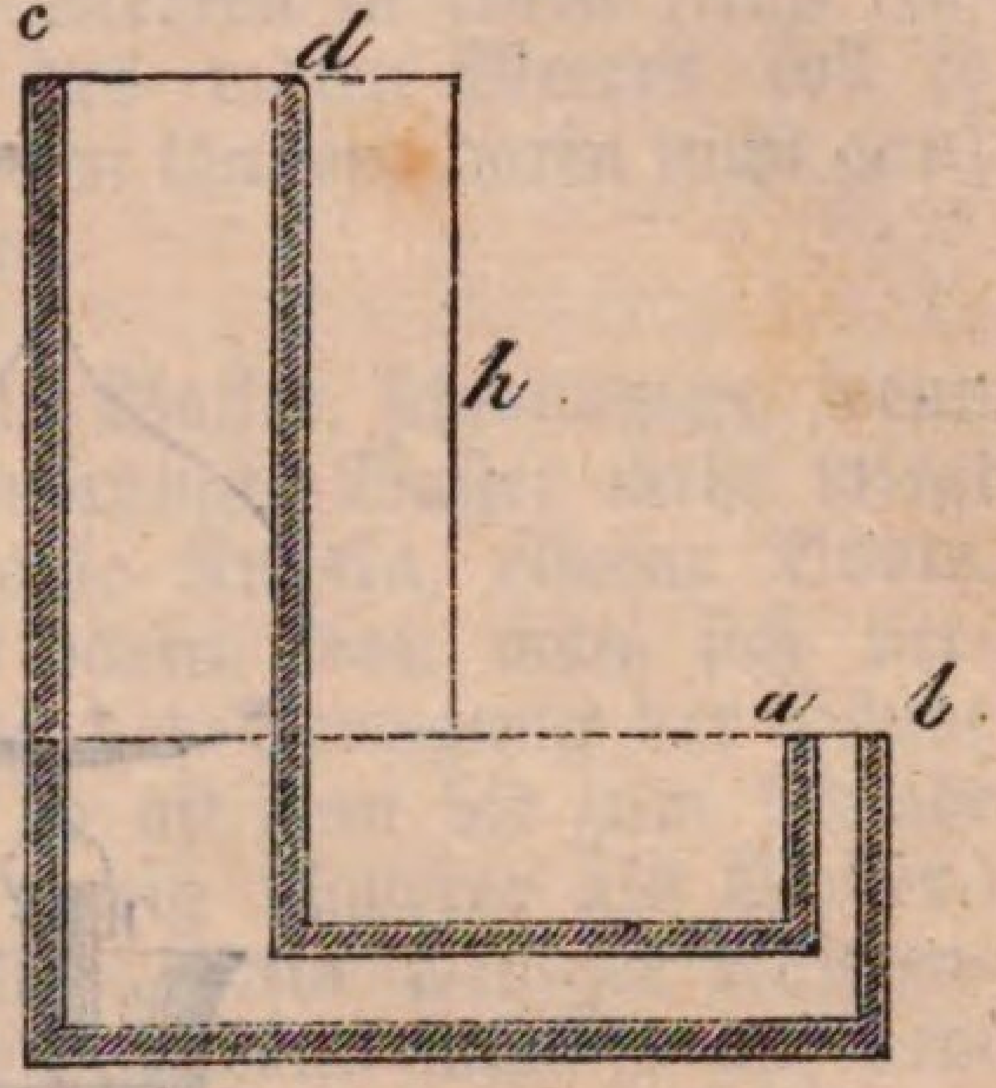
§ 55. Springbrunnen.

§ 55. Wenn eine von zwei communicirenden Röhren kürzer ist, als die andere, und die längere wird durch Zufluß gefüllt er-

halten, so würde die Flüssigkeit bis zum Niveau der längeren steigen, wenn nicht Luftwiderstand, Adhäsion und das zurückfallende Wasser diese Höhe verminderten.

Wegen dieser Hindernisse erreicht der Strahl nur ungefähr zwei Drittheil dieser Höhe.

Fig. 74.



Beweis. Die oberste Flüssigkeitsschicht ab (Fig. 74) erleidet einen Druck, welcher gleich der Schwere einer Flüssigkeitssäule ist, deren Grundfläche ab und deren Höhe = h ist. Ein solcher Druck ertheilt aber, wie aus § 54 hervorgeht, der Flüssigkeit eine Geschwindigkeit $= \sqrt{2hg}$. Ein Körper aber, welcher mit einer Geschwindigkeit von $\sqrt{2hg}$ senkrecht in die Höhe geworfen wird, erreicht, wie sich aus den Gesetzen des verticalen Wurfes ergiebt, eine Höhe = h. Springbrunnen. Artesische Brunnen.

§ 56. Gleichgewicht fester und flüssiger Körper. Wenn der feste specifisch schwerer ist.

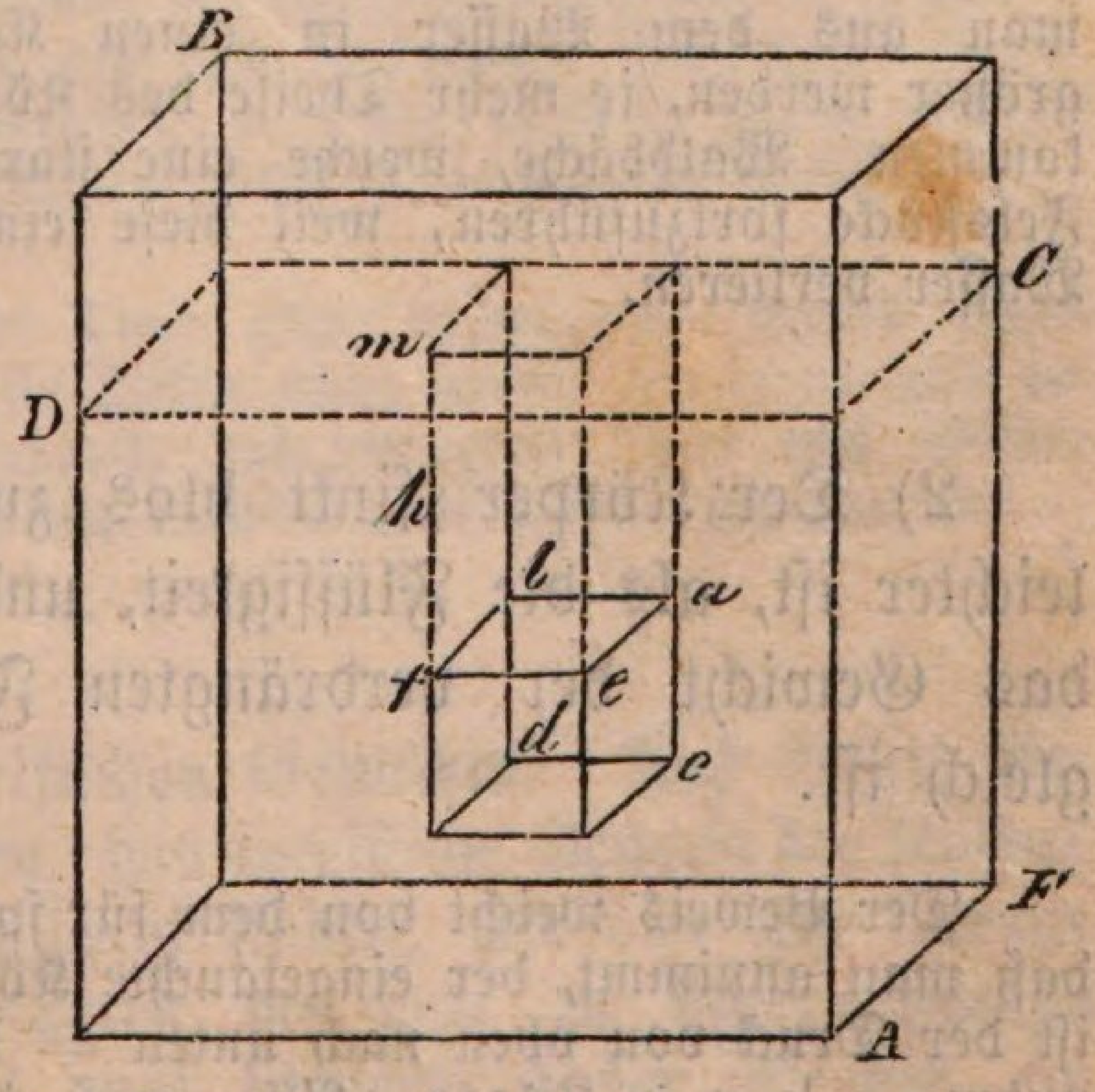
§ 56. Gleichgewicht fester Körper in flüssigen. Wird ein fester Körper in eine Flüssigkeit gethan, so sinkt er entweder unter, oder er taucht nur zum Theil, oder gerade bis zur Oberfläche ein.

1) Er sinkt unter, wenn er specifisch schwerer ist, als die Flüssigkeit, und zwar sinkt er mit dem Ueberschusse seines Gewichtes über das Gewicht der von ihm verdrängten Flüssigkeitsmenge unter, oder was dasselbe ist?

Er verliert an seinem Gewichte so viel, als die von ihm verdrängte Flüssigkeitsmenge wiegt. (Das archimedische Princip.)

Dabei ist es gleichgiltig, wie tief sich der Körper unter der Oberfläche befindet.

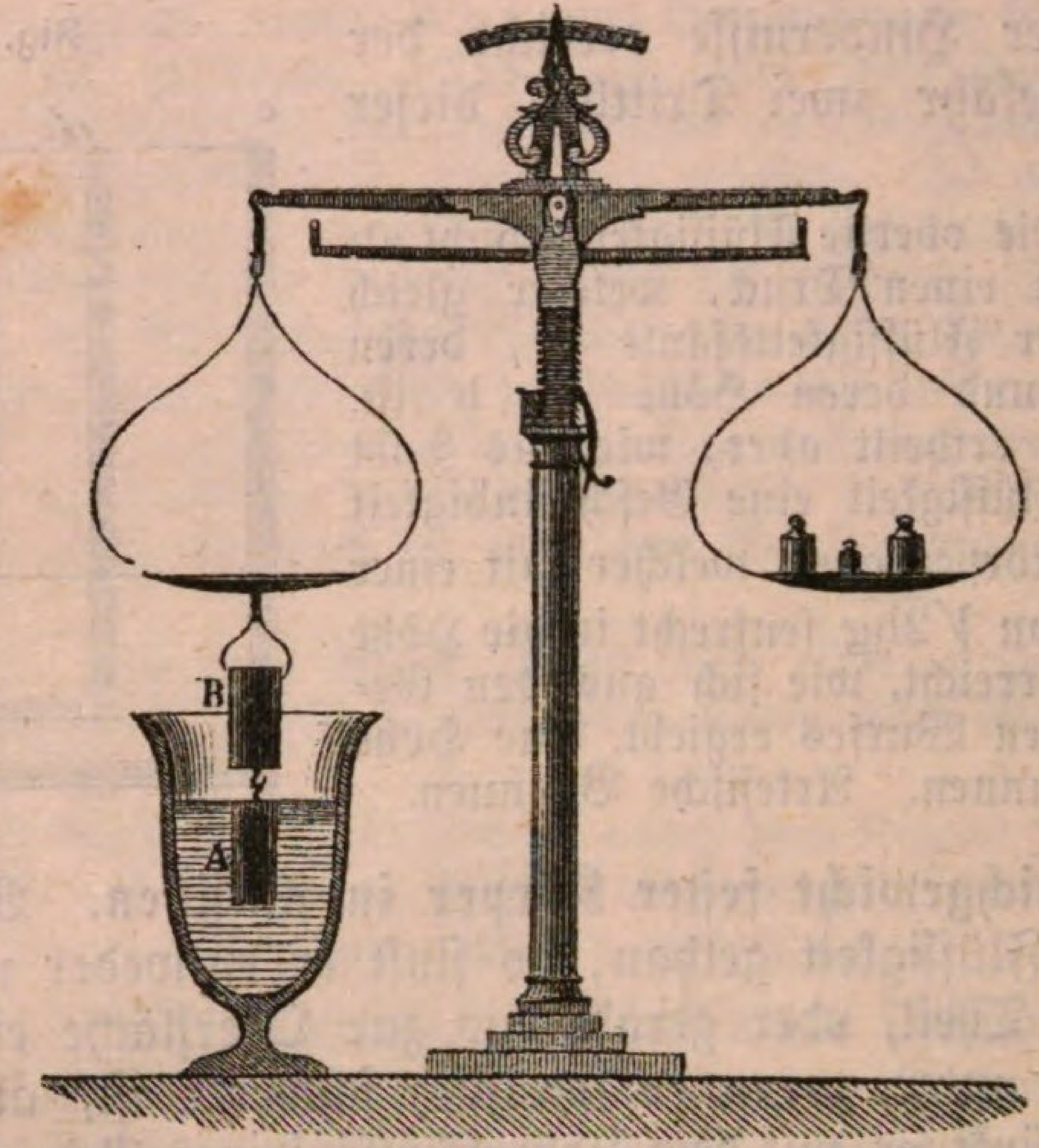
Fig. 75.



Beweis. (Fig. 75.) AB sei ein Gefäß mit Wasser, CD dessen Niveau, cf die später von dem einzutauchenden Körper verdrängte Flüssigkeitsmenge. Bevor der Körper eingetaucht wird, steht die Flüssigkeit in Ruhe: es muß also die Flüssigkeitsschicht, auf welcher cf ruht, ebenso stark nach oben drücken, als die über ihr ruhenden Flüssigkeitsmengen cf und am nach unten drücken. Wiegt also cf k Kilogr. und am r Kilogramm, so ist der Druck auf die gedachte Schicht von oben und also auch von unten = k + r Kilogr. Wenn nun an der Stelle von cf ein Körper sich befindet, welcher k + v Kilogr. wiegt, so ist der Druck von oben = k + r + v Kilogr., der Druck von unten bleibt = k + r Kilogr. Der Ueberschuß des Druckes von oben ist also = v Kilogr., folglich sinkt der Körper mit v Kilogr. Kraft nach unten; er hat also k Kilogr. an Gewicht verloren.

Beweis durch den Versuch. (Fig. 76.) An der einen Wagschale einer Wage hängt ein hohler Cylinder B und darunter ein massiver A, welcher

Fig. 76.



genau den Cylinder B ausfüllt. Legt man auf die andere Wagschale so viel Gewichte, daß die Wagschalen im Gleichgewicht stehen, und taucht dann den unteren Cylinder A in's Wasser, so wird das Gleichgewicht gestört. Es wird aber wieder hergestellt, wenn man den hohlen Cylinder voll Wasser gießt.

Daher ist es leichter, schwere Körper im Wasser zu heben, als in der Luft; z. B. Taucher holen vom Grunde des Wassers eiserne Kugeln herauf. Schöpft man mit einem Eimer Wasser, so ist es leicht, ihn bis an die Oberfläche zu heben. Ein im Wasser befindlicher Mensch kann sich durch Festhalten an einem sehr dünnen Zweige vor dem Untersinken schützen. Steigt man aus dem Wasser in einen Kahn, so muß die Kraftanstrengung größer werden, je mehr Theile des Körpers über die Oberfläche des Wassers kommen. Waldbäche, welche eine starke Strömung haben, vermögen große Felsstücke fortzuführen, weil diese einen großen Theil ihres Gewichtes im Wasser verlieren.

Wenn der feste der specifisch leichtere ist.

2) Der Körper sinkt blos zum Theil ein, wenn er specifisch leichter ist, als die Flüssigkeit, und zwar sinkt er so weit ein, daß das Gewicht der verdrängten Flüssigkeits-Menge dem seinigen gleich ist.

Der Beweis weicht von dem für specifisch schwerere Körper nur darin ab, daß man annimmt, der eingetauchte Körper wiege k — v Kilogramm. Dann ist der Druck von oben nach unten = k + r — v Kilogramm und der von unten = k + r Kilogr. Also muß der Körper mit v Kilogr. Kraft nach oben steigen. Daß der Körper so weit aus der Flüssigkeit gedrängt wird, bis

das Gewicht der verdrängten Flüssigkeit gleich seinem Gewichte ist, läßt sich ganz in derselben Art beweisen. Jeder schwimmende Körper, z. B. ein Schiff, kann so weit belastet werden, bis sein Gewicht und das der Last gleich dem der verdrängten Flüssigkeit ist. Je specifisch schwerer hiernach eine Flüssigkeit ist, ein desto größerer Theil desselben schwimmenden Körpers ragt über die Oberfläche heraus, z. B. Kork taucht so wenig in Quecksilber ein, daß er darauf zu ruhen scheint. Schiffe, welche aus den Meeren in einen Fluß einlaufen, müssen erleichtert werden. Das Wasser des todten Meeres soll so schwer sein, daß selbst Menschen, die nicht schwimmen können, darin nicht ganz untersinken. Auf Quecksilber schwimmt sogar Eisen.

Auch Körper, welche specifisch schwerer sind als Wasser, schwimmen, wenn sie eine solche Form haben, daß das von ihnen verdrängte Wasser mehr wiegt als sie selbst. Z. B. leere Flaschen, metallene hohle Kugeln, eiserne Boote. Das künstliche Schwimmen der Menschen besteht darin, daß man sich vermittelst des Widerstandes, welchen das Wasser bei der Bewegung der Hände und Füße leistet, wieder über das Wasser erhebt, so oft man bis zum Munde eingesunken ist. (Der menschliche Körper ist nur wenig schwerer als Wasser.) Je mehr Theile des Körpers unter dem Wasser sind, desto weniger Anstrengung erfordert das Schwimmen, daher am wenigsten, wenn man so auf dem Rücken schwimmt, daß blos das Gesicht außer dem Wasser ist. Personen, welche nicht schwimmen können, strecken, wenn sie in Gefahr kommen, zu ertrinken, zu ihrem Nachtheil gewöhnlich die Arme über's Wasser. Sie würden sich retten, wenn sie mit Armen und Füßen die gewöhnlichen Bewegungen des Gehen machten. Ertrunkene Menschen oder Thiere liegen eine Zeitlang auf dem Grunde; sobald aber der Prozeß der Fäulniß beginnt, entwickeln sich Gase in dem Körper, derselbe nimmt an Volumen zu und kommt an die Oberfläche des Wassers.

3) Der Körper taucht bis zum Niveau ein, und bleibt in jeder Tiefe, bis zu welcher er eingetaucht wird, wenn sein specifisches Gewicht gleich dem der Flüssigkeit ist. (Er verliert also sein ganzes Gewicht.) Wenn der feste und der flüssige specifisch gleich schwer sind.

Beweis. Befindet sich an der Stelle der Flüssigkeitsmenge cf (Fig. 75) ein Körper, welcher eben so viel wiegt, als das verdrängte Wasser, so ist der Druck auf die Flüssigkeitsschicht, auf welcher er ruht, eben so groß, als ob blos Flüssigkeit über ihr stände, und folglich muß Gleichgewicht stattfinden.

Lebende Fische vermögen in jeder Tiefe ohne Bewegung irgend eines Körpertheiles in Ruhe zu verharren; sie sinken nicht unter, verlieren also im Wasser ihr ganzes Gewicht. Folgt hieraus, daß ein zum Theil mit Wasser gefülltes Gefäß nicht schwerer wird, wenn man lebende Fische hineinthut?

§ 57. Bestimmung des specifischen Gewichts. Aus diesen Gesetzen ergeben sich bequeme Methoden, das specifische Gewicht der Körper zu bestimmen. Man kann nämlich leicht finden, wie viel eine Menge Wasser wiegt, welche gleiches Volumen mit dem zu untersuchenden Körper hat, und daraus, wie viel mal schwerer dieser ist, als ein gleiches Volumen Wasser. § 57. Bestimmung des specifischen Gewichts

fester Körper.

1) Das specifische Gewicht fester Körper erhält man, indem man den Gewichtsverlust des Körpers in destillirtem Wasser bestimmt und mit diesem in sein absolutes Gewicht dividirt. (Fig. 77.)

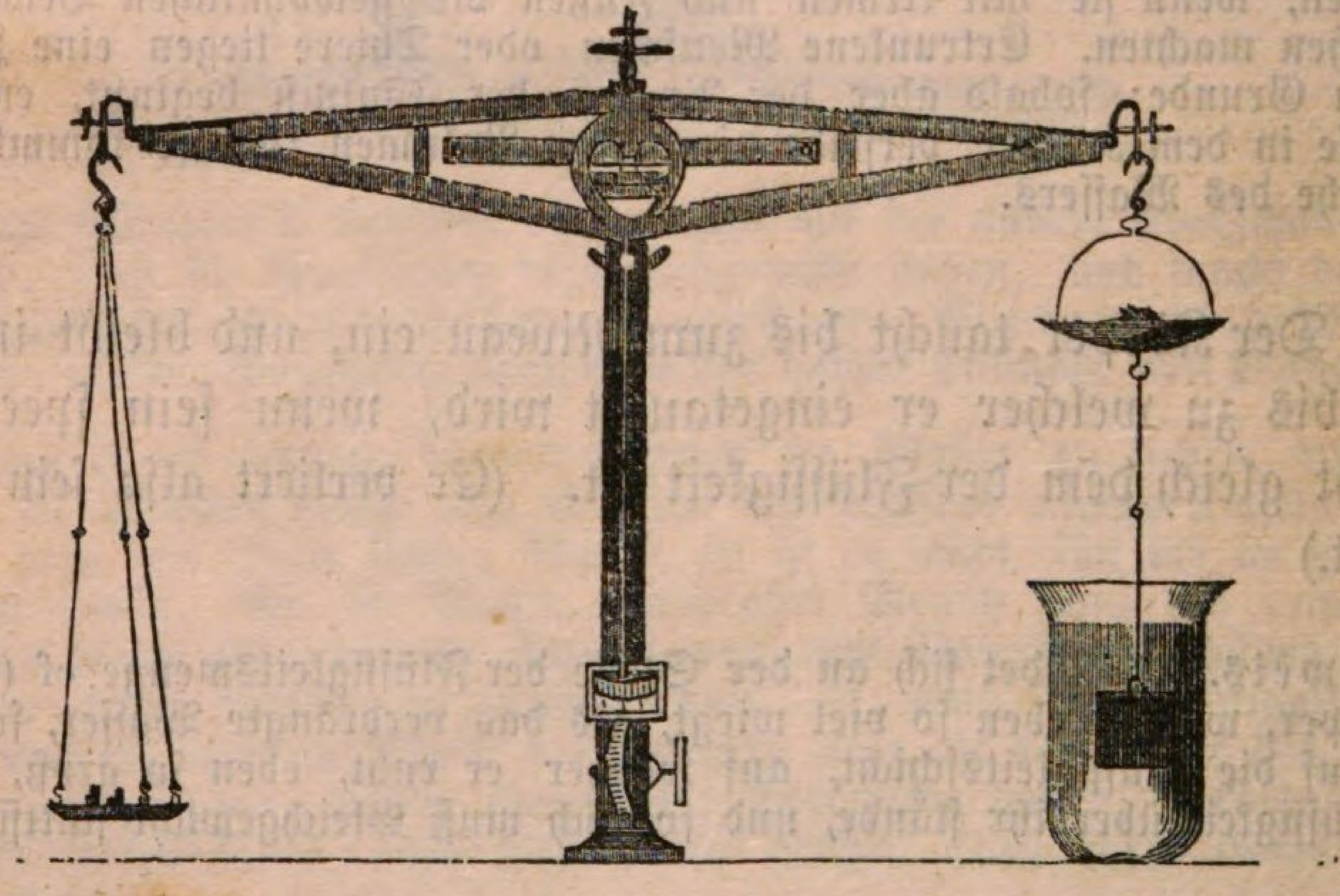
Den Gewichtsverlust eines festen Körpers, welcher specifisch leichter ist, als Wasser, erhält man, wenn man ihn mit einem specifisch schwereren Körper verbindet, so daß beide zusammen untersinken, dann den Gewichtsverlust beider und endlich den Gewichtsverlust des specifisch schwereren bestimmt und diesen von dem Gewichtsverluste beider Körper abzieht.

flüssiger Körper.

2) Das specifische Gewicht eines flüssigen Körpers findet man, wenn man den Gewichtsverlust eines beliebigen festen Körpers in der zu untersuchenden Flüssigkeit und dann den im Wasser bestimmt und mit letzterem in ersteren dividirt.

Hydrostatische Waage.

Fig. 77.



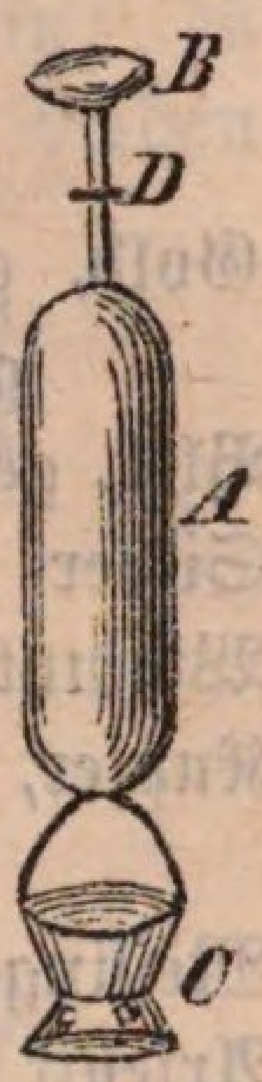
Das specifische Gewicht flüssiger Körper bestimmt man auch durch ein Fläschchen mit eingeriebenem Glaspfropfen, dessen Kubik-Inhalt 10 bis 20 Kubikcentimeter beträgt, welches also an Gewicht 10 bis 20 Gr. destillirtes Wasser faßt. Hat man nun diese Wassermenge genau bestimmt, füllt dann das Fläschchen mit der zu untersuchenden Flüssigkeit und bestimmt deren Gewicht, so findet man, wie viel mal schwerer sie ist, als ein gleiches Volumen Wasser.

Nicholson's Aräometer.

3) Zur Bestimmung des specifischen Gewichtes sehr kleiner fester Körper bedient man sich des Nicholson'schen Aräometers (Dichtigkeits-

messer). (Fig. 78.) Ein hohler Metallcylinder A, welcher oben an einem dünnen Drahte ein Schälchen B, unten einen schweren Körper C trägt, welcher oben und unten mit einem hervorstehenden Rande versehen ist. Der obere Draht hat eine Marke in D. Das Instrument ist so eingerichtet, daß dasselbe im Wasser aufrecht schwimmt und ein Theil des Cylinders aus dem Wasser hervorragt.

Fig. 78.



Vermittelst dieses Instrumentes kann man erstens das absolute Gewicht fester Körper bestimmen. — Auf welche Weise? — Zweitens den Gewichtsverlust derselben im Wasser, sowohl solcher, welche specifisch schwerer, als auch solcher, welche specifisch leichter als Wasser sind. (Letztere legt man beim Eintauchen in Wasser unter das Gefäß C.) Drittens kann man durch dasselbe das Gewicht einer Quantität Flüssigkeit bestimmen, deren Volumen gleich dem des Instrumentes bis zur Marke D ist. Zur schnelleren Bestimmung des specifischen Gewichts von Flüssigkeiten bedient man sich mit Vortheil der sogenannten Scalen-Aräometer.

Scalen-Aräometer sind:

Fig. 79.



1. Das Volumeter (Fig. 79), eine Glasröhre, welche sich unten in einen Cylinder erweitert, und darunter noch eine Kugel mit Quecksilber trägt, damit es aufrecht schwimmt. Das Volumeter.

Soll das Instrument zur Bestimmung des specifischen Gewichts von schwereren Flüssigkeiten dienen, so ist es so eingerichtet, daß es in reinem Wasser fast bis zum obersten Punkte der Röhre einsinkt. Diesen Punkt bezeichnet man mit 100. Von diesem abwärts sind Theilstriche so angebracht, daß jedes Röhrenstück zwischen je zweien $= \frac{1}{100}$ des Volumens ist, welches im Wasser eingetaucht steht, und mit den Zahlen 100, 99, 98, 97, 96 u. s. w. versehen ist. Soll das Instrument für specifisch leichtere Flüssigkeiten gebraucht werden, so liegt der Wasserpunkt ziemlich tief, die Theilung geht von diesem aufwärts und die Zahlen werden vom Wasserpunkte an größer.

Tauchst man ein solches Instrument in einer Flüssigkeit bis zur Zahl a ein, so ist deren specifisches Gewicht $= \frac{100}{a}$. — Warum?

2. Das Alkoholometer, von dem Volumeter nur darin unterschieden, daß die Scala angiebt, wie viel Procent Alkohol der wasserhaltige Spiritus enthält. Wie construirt man die Scala? Das Alkoholometer.

3. Die Soolwage. Die Scala derselben giebt an, den wievielten Theil derjenigen Menge Salz die Soole enthält, durch welche das Wasser gesättigt wird. Die Soolwage.

Specifisches Gewicht einiger festen Körper,

Tabelle der specifischen Gewichte einiger festen Körper bei 0° Wärme.

Platin, gemünzt	22,100.	Porcellan	2,493—2,145.
gewalzt	22,069.	Gyps, krystallisirt	2,311.
geschmolzen	20,857.	Schwefel	2,033.
zu Draht gezogen	19,267.	Elfenbein	1,917.
Gold, gemünzt	19,325.	Alabaster	1,874.
geschmolzen	19,253.	Phosphor	1,770.
Blei, geschmolzen	11,352.	Bernstein	1,078.
Silber	10,474.	Wachs, weißes	0,969.
Wismuth	9,822.	Natrium	0,972.
Kupfer, gehämmert	8,878.	Kalium	0,865.
gegossen	8,788.	Ebenholz	1,226.
Messing	8,395.	Eichenholz, alt	1,170.
Arsenik	8,308.	Buxbaum	1,330.
Nickel	8,279.	Ahorn, frisch	0,904.
Stahl	7,816.	trocken	0,659.
Eisen, geschmiedet	7,788.	Buchen, frisch	0,982.
gegossen	7,207.	trocken	0,590.
Zinn	7,291.	Edeltanne, frisch	0,890.
Antimon	6,712.	trocken	0,555.
Chrom	5,900.	Erlen, frisch	0,857.
Jod	4,948.	trocken	0,500.
Schwerspath	4,426.	Eschen, frisch	0,904.
Diamant	3,520.	trocken	0,644.
Flintglas, von Fraunhofer	3,779.	Linden, frisch	0,817.
französisches	3,200.	trocken	0,439.
englisches	3,373.	Mahagoni	1,060.
Bouteillenglas	2,600.	Nußbaum	0,677.
Spiegelglas	2,370.	Pappel	0,383.
Marmor	2,837.	Kork	0,21.
Bergkrystall	2,683.		

einiger flüssigen Körper.

Tabelle der specifischen Gewichte einiger Flüssigkeiten bei 0°.

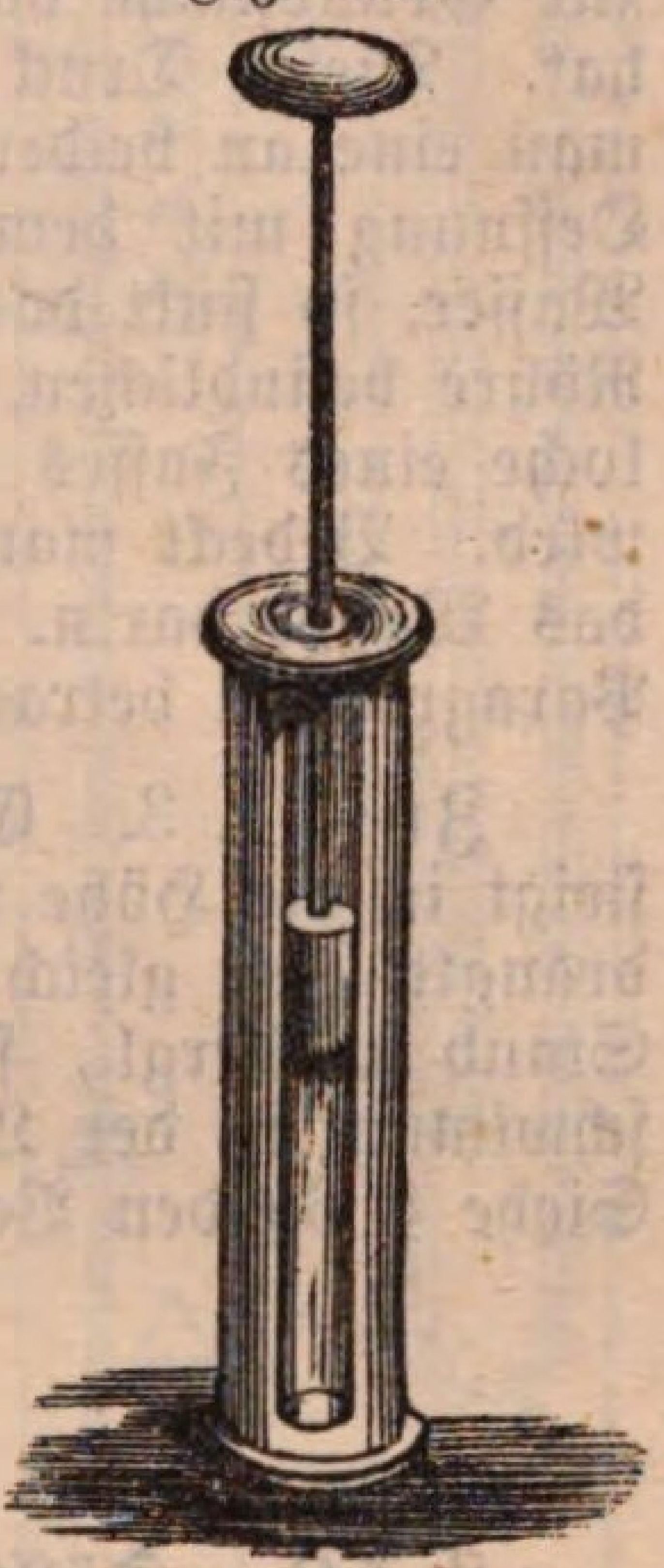
Destillirtes Wasser	1,000.	Milch	1,030.
Quecksilber	13,598.	Wein, Malaga	1,022.
Schwefelsäure, englische	1,848.	Rhein	0,999.
Verdünnte Schwefelsäure bei 15° C:		Oele, Citronen	0,852.
10procentige	1,066.	Lein	0,953.
50 „	1,387.	Mohn	0,929.
100 „	1,840.	Oliven	0,915.
Verdünnte Salpetersäure:		Terpentin	0,872.
10procentige	1,054.	Alkohol, absoluter	0,793.
50 „	1,295.	Schwefeläther	0,715.
100 „	1,500.	Schwefelkohlenstoff	1,272.

D. Gleichgewichts- und Bewegungsgesetze der luftförmigen Körper.

§ 58. Die luftförmigen Körper haben die Schwere und die leichte Verschiebbarkeit ihrer Theile mit den flüssigen Körpern gemein; es müssen daher alle Gesetze der flüssigen Körper, die aus diesen beiden Eigenschaften entspringen, auch für die luftförmigen gelten. § 58. Welche Gesetze der flüssigen Körper gelten auch für die luftförmigen?

Beweis für die Schwere. Ein Glas-Ballon, aus welchem die Luft ausgepumpt ist, ist leichter, als wenn er mit Luft gefüllt ist.

Fig. 80.



Sie besitzen aber zwei Eigenschaften, die den flüssigen Körpern abgehen: sie sind elastisch und ausdehnsam.

Beweis für die Elasticität. (Fig. 80.) Wird ein genau schließender Kolben in eine unten geschlossene Röhre gedrückt, so treibt ihn die Luft wieder zurück. Den Beweis für die Ausdehnsamkeit siehe § 4.

Daher erleiden manche von den Gesetzen, die sie mit den flüssigen Körpern gemein haben, eine Modification, und andere neue Erscheinungen treten auf.

Da wir uns selbst in dem Luftmeere befinden, so kann von den Gesetzen, welche die Oberfläche der Flüssigkeiten in Gefäßen betrafen, hier nicht die Rede sein. Die ganze, die Erde umgebende Luftmasse muß aber, wie die Meere, wegen der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit ihrer Theile eine kugelförmige Oberfläche haben, wenn wir nämlich von den Schwankungen absehen, denen die Luftmasse wegen ihrer großen Beweglichkeit unterworfen ist und die auf der Oberfläche unfehlbar weit größere Wogen veranlassen, als die Meereswogen sind.

Wegen der Schwere und Elasticität der Luft muß die Dichtigkeit der Atmosphäre von oben nach unten zunehmen und dicht an der Oberfläche der Erde am größten sein.

Denn je größer die Masse ist, welche auf einem elastischen Körper ruht, desto mehr wird er zusammengedrückt und desto dichter wird er.

Ferner gelten die folgenden, aus der Schwere und der leichten Verschiebbarkeit der Theile für die flüssigen Körper entspringenden Gesetze auch für die luftförmigen Körper, nämlich: Gesetze, welche für die luftförmigen, wie für die flüssigen Körper gelten.

1) Der Druck pflanzt sich gleichmäßig fort.

2) In einer Flüssigkeit erleidet jeder Körper und jede Flüssigkeitsschicht einen Druck, welcher so groß ist, als die Schwere einer Flüssigkeitssäule, welche zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Entfernung derselben vom Niveau hat.

3) Jeder Körper verliert in einer Flüssigkeit so viel an Gewicht, als die verdrängte Flüssigkeit wiegt.

Zu Nr. 1. Drückt man vermittelst eines Kolbens die Luft in einem Gefäße zusammen, so erleiden alle Theile der Umfassungswände des Gefäßes

diesen Druck; denn befindet sich irgendwo eine Oeffnung, und man hält diese mit dem Finger zu, so fühlt man den Druck. Der Druck, welchen die Atmosphäre durch ihr Gewicht hervorbringt, ist im Zimmer eben so groß, als unter freiem Himmel; denn der Barometerstand ist hier und dort derselbe, siehe § 59.

Zu Nr. 2. Da wir uns in einem Luftmeere befinden, so muß jede Fläche einen Druck erleiden, der gleich dem Gewichte einer Luftsäule ist, welche zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe die Höhe der Atmosphäre hat. Dieser Druck giebt sich z. B. in folgenden Erscheinungen kund: Füllt man eine an beiden Seiten offene Glasröhre mit Wasser, indem man die eine Oeffnung mit dem Finger zuhält, und taucht sie mit dem offenen Ende in Wasser, so sinkt das in der Röhre erst dann bis zum Niveau des außer der Röhre befindlichen, wenn man den Finger oben wegnimmt. Aus dem Zapfloche eines Fasses läuft der Wein erst dann, wenn das Spundloch geöffnet wird. Bedeckt man ein Glas Wasser mit Papier und kehrt es um, so bleibt das Wasser darin. Noch genauer werden wir diesen Luftdruck im nächsten Paragraphen betrachten.

Zu Nr. 3. Ein mit verdünnter Luft oder Wasserstoffgas gefüllter Ballon steigt in die Höhe und zwar bis zu der Höhe, in welcher die von ihm verdrängte Luft gleich seinem Gewichte ist. — Leichte Körper, wie Flaumfedern, Staub u. dergl., sinken ganz langsam zur Erde. — Der fliegende Vogel schwimmt in der Luft auf ähnliche Weise, wie der Mensch im Wasser. — Siehe § 65 den Versuch mit der Luftpumpe Nr. 10.

Das Barometer.

§ 59. Der Torricelli'sche Versuch.

§ 59. Füllt man eine an dem einen Ende zugeschmolzene Glasröhre von etwa 30 Pariser Zoll, d. i. ungefähr 80 Centimeter, Länge mit Quecksilber und taucht sie umgekehrt in ein Gefäß mit Quecksilber, so sinkt das in der Röhre enthaltene um einige Zoll herunter, so daß sein Niveau ungefähr 28 Zoll, d. i. ungefähr 76 Centimeter, über dem Niveau des Quecksilbers im Gefäße steht. (Torricelli'scher Versuch.)

Erhebt man sich mit dieser Vorrichtung über die Erdoberfläche, etwa in einem Luftballon, oder indem man einen Berg ersteigt, so sinkt die Quecksilbersäule, und zwar desto mehr, je höher man steigt. Hat man anstatt der an einer Seite zugeschmolzenen Röhre eine an beiden Seiten offene genommen und sie oben mit dem Finger zugehalten, so fällt die ganze Quecksilbersäule, sobald man den Finger wegnimmt.

Daraus geht hervor, daß die Quecksilbersäule von dem Luftdrucke getragen wird.

Daraus aber, daß die Quecksilbersäule beim Umkehren von 30 bis auf ungefähr 28 Zoll sinkt, geht hervor, daß der Luftdruck, welcher auf dem Quecksilber des Gefäßes ruht, nur einer Quecksilbersäule von ungefähr 28 Zoll Höhe das Gleichgewicht zu halten vermag, daß also die Luftmasse, wie wir im vorigen Paragraphen einstweilen ohne Beweis angenommen hatten, wirklich eine begrenzte ist und nicht etwa den ganzen Weltraum erfüllt. Man hat somit eine Vorrichtung, vermittelst deren man den Druck der Atmosphäre messen kann. Um die

Höhe der Quecksilbersäule genau messen zu können, bringt man einen Maßstab an, dessen Nullpunkt auf dem Quecksilberniveau des Gefäßes steht.

Eine solche Vorrichtung heißt **Barometer**, die Höhe der von der Luft getragenen Quecksilbersäule **Barometerstand**.

Unsere Stubenbarometer haben gewöhnlich die Form Fig. 81.

Von dem Maßstabe ist blos der obere Theil verzeichnet, und obwohl der Barometerstand, wie wir später sehen werden, veränderlich ist, also auch das Niveau im Gefäße bald höher, bald niedriger steht, so läßt man doch den Stand des Maßstabes unverändert, weil das Steigen und Fallen im Gefäße so gering ist, daß man dasselbe übersehen kann. Ein Barometer von dieser oder der vorigen Form heißt **Gefäß-Barometer**. Für wissenschaftliche Zwecke, wo es auf große Genauigkeit ankommt, bedient man sich des sogenannten **Heber-Barometers** (Fig. 82). Bei diesem ist der Maßstab verschiebbar, so daß sich der Nullpunkt immer auf das Niveau des kürzeren Schenkels stellen läßt; oder es ist für jeden Schenkel ein Maßstab angebracht.

Fig. 81.



Fig. 82.



Das Gefäß- und das Heber-Barometer.

Der obere Raum im Barometer muß vollständig luftleer sein; warum? Wie erkennt man, ob er luftleer ist? Das Quecksilber selbst muß durch Abkochung von allen Luftblasen befreit sein; weshalb? Ist es nothwendig, daß die Röhre überall genau gleich weit sei? Beim Heber-Barometer ist dies wünschenswerth; weshalb? Warum braucht die Oeffnung im Gefäße des Stubenbarometers nur ganz klein zu sein? Warum wird die Quecksilbersäule länger, wenn man die Barometerröhre aus der verticalen Lage bringt? Wie muß man das Barometer beim Tragen halten, wenn man sicher sein will, daß das Quecksilber die Röhre nicht zerschlägt?

§ 60. Messung des Luftdruckes.

§ 60. **Anwendung des Barometers.** Das Barometer giebt, wie im vorigen Paragraphen gezeigt ist, den Druck an, welchen jeder Theil der Erdoberfläche und die Begrenzungsflächen jedes Körpers durch die Luft erleiden.

1) Der Luftdruck auf jede Fläche ist nämlich so groß, als die Schwere einer Quecksilbersäule, die zur Grundfläche die gedrückte Stelle und zur Höhe den Barometerstand hat.

Gesetzt, der innere Querschnitt einer Heber-Barometerröhre sei ein Quadratcentimeter und der Barometerstand = 76 Centimeter, so müßte, wenn das Quecksilber in dem geschlossenen Schenkel der Barometerröhre, anstatt durch den Luftdruck, durch den Druck einer Quecksilbersäule im Gleichgewicht gehalten werden sollte, auf dem Niveau des Quecksilbers in dem offenen Schenkel eine Quecksilbersäule von 76 Centimeter Höhe stehen. Der kubische Inhalt derselben ist aber 76 Kubikcentimeter und diese wiegen, da das speci-

fische Gewicht des Quecksilbers = 13,6 ist, 13,6 . 76 Gramm, d. i. 1034 Gramm = 1,034 Kilogramm. So groß ist der Druck der Luft auf jede Fläche von der Größe eines Quadratcentimeters.

Wie groß ist der Luftdruck auf eine Tischplatte, deren Oberfläche = 2 Quadratmeter? oder auf den Körper eines Mannes, dessen Oberfläche ungefähr = 1,27 Quadratmeter ist? Wie ist es möglich, daß wir diesen Druck gar nicht merken? daß der Tisch nicht zusammenbricht?

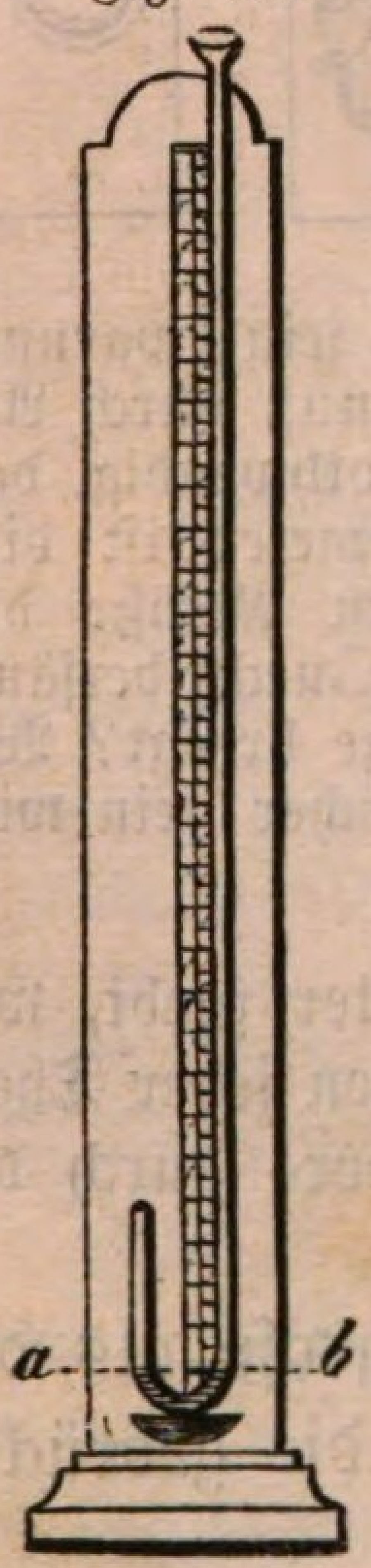
Massen-Bestimmung der Atmosphäre.

2) Hieraus läßt sich nun das ungefähre Gewicht der ganzen, unsere Erde umgebenden Luftmasse bestimmen.

Der Radius der Erde ist = 860 Meilen, 1 Meile = 7420 Meter. Hieraus läßt sich die Oberfläche der Erde berechnen; da man nun den Druck der Luft, wie vorhin gezeigt, auf eine Fläche von 1 Quadratcentimeter kennt, so kann man auch den Druck derselben auf die ganze Erdoberfläche finden und dieser ist gleich dem Gewichte der ganzen Luftmasse. Führe diese Rechnung aus.

3) Da das Barometer sinkt, wenn man sich über die Erdoberfläche erhebt, so würde sich vermittelst desselben sehr leicht die Höhe der Berge, überhaupt der Höhenunterschied zweier Orte bestimmen lassen, wenn die Luft nicht elastisch wäre und also in jeder Höhe gleiche Dichtigkeit, also gleiches specifisches Gewicht hätte. Denn wäre dann z. B. gefunden, daß das Barometer bei einer Erhebung von 24 Meter um 2 Millimeter sänke, so wäre ein Ort, an welchem das Barometer n . 2 Millimeter niedriger stände, als an einem andern, um n . 42 Meter höher gelegen, als letzterer.

Fig. 83.



Nun ist aber die Luft elastisch; sie hat daher in den unteren Schichten eine größere Dichtigkeit und also auch ein größeres specifisches Gewicht, als in den oberen. Es muß daher zuvor untersucht werden, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Luft bei zunehmender Höhe sich vermindert. Und dazu ist wieder nöthig, zu untersuchen, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Luft bei zunehmender zusammendrückender Kraft wächst.

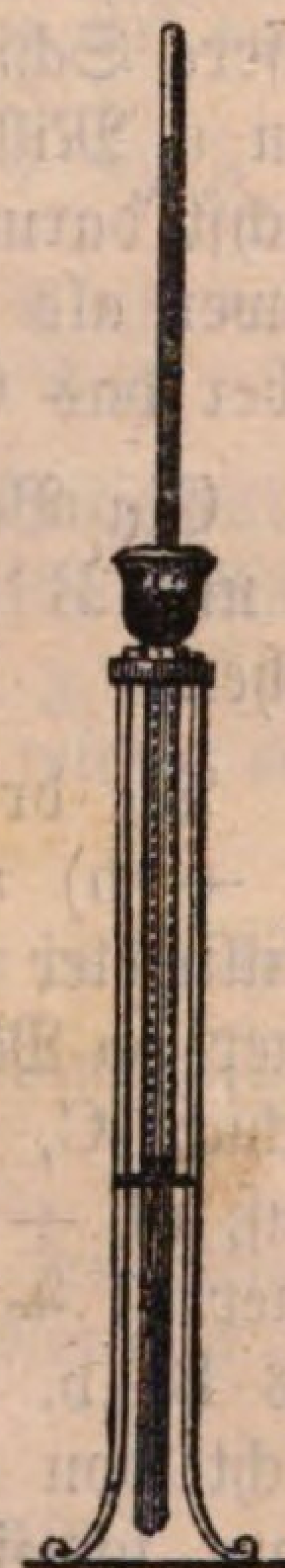
§ 61. Zunahme der Luftdichtigkeit bei zunehmendem Drucke.

§ 61. Füllt man (Fig. 83) in eine gekrümmte Röhre, deren unterer Theil verschlossen und überall gleich weit ist, ein wenig Quecksilber und läßt nun durch Neigung der Röhre aus dem kürzeren Schenkel so viel Luft heraus, daß das Quecksilber bei verticaler Stellung der Röhre in beiden Schenkeln gleich hoch steht, etwa bis ab, so erleidet die in dem kürzeren Schenkel abgesperrte Luft einen Druck, der gleich der Schwere einer Quecksilbersäule ist, welche zur Grundfläche den Querdurchschnitt des kürzeren Schenkels und zur Höhe den Barometerstand hat. Gießt man nun so viel Quecksilber nach, bis dasselbe in dem längeren Schenkel um einen Barometerstand höher, als in dem kürzeren Schenkel steht, so daß also der Druck auf

die abgesperrte Luft doppelt so groß ist, als vorher, so nimmt letztere nur einen halb so großen Raum ein. Gießt man dann wieder so viel Quecksilber nach, bis dasselbe in dem längeren Schenkel um zwei Barometerstände höher steht, als in dem kürzeren, so ist die zusammendrückende Kraft dreimal so groß, als zuerst, und die abgesperrte Luft nimmt jetzt einen dreimal kleineren Raum ein. Auch wenn man den Druck $1\frac{1}{2}$mal, $2\frac{1}{2}$mal u. dgl. so groß macht, als zuvor, so erhält man einen $1\frac{1}{2}$, $2\frac{1}{2}$ ꝛc. mal so kleinen Raum für die abgesperrte Luft. Kurz, bei allen Versuchen der Art erhält man stets für den $n$fachen Druck einen $n$mal so kleinen Raum.

Auch für einen Druck, welcher kleiner ist als eine Atmosphäre, gilt das Gesetz. Denn: Füllt man eine Barometerröhre (Fig. 84) bis auf etwa 3 Centimeter mit Quecksilber, taucht sie umgekehrt in eine weitere mit Quecksilber gefüllte Röhre und drückt sie so weit hinab, bis das Niveau in beiden Röhren gleich hoch steht, so nimmt die in der engeren abgesperrte Luft wieder einen Raum von 3 Centimeter Länge ein, und ist so dicht als die äußere. Zieht man dann die engere Röhre so weit in die Höhe, daß das Quecksilber in dieser einen halben Barometerstand über dem der weiteren steht, so nimmt die Luft einen Raum von 2 . 3 Centimeter Länge ein. Steht es zwei Drittheil des Barometerstandes höher, so nimmt die Luft einen 3 . 3 Centimeter langen Raum ein u. s. w.

Fig. 84.



a. **Es ist demnach das Volumen eines luftförmigen Körpers bei $n$mal so großem Drucke $n$mal so klein.**

Das Mariotte'sche Gesetz.

Oder was dasselbe ist:

b. **Die Dichtigkeit eines luftförmigen Körpers ist bei $n$mal so großem Drucke $n$mal so groß.**

Dieses Gesetz heißt das Mariotte'sche; es wurde nämlich 1660 von Mariotte in Frankreich, zugleich aber auch von Boyle in England gefunden. Aus dem Versuche geht auch hervor:

c. **Die Expansion eines luftförmigen Körpers ist bei $n$mal so großer Dichtigkeit $n$mal so groß.**

Denn sie ist, wie der obige Versuch zeigt, gleich der drückenden Kraft.

Das Mariotte'sche Gesetz gilt aber nur, wenn die Luft dieselbe Temperatur behält. Bei sehr starkem Druck, z. B. bei einem Druck von 5 Atmosphären und darüber nimmt das Volumen ein wenig stärker ab, als der Druck zunimmt.

Z. B. wird nach Regnault eine Quantität atmosphärischer Luft bis auf $1/5$ ihres Volumens zusammengedrückt, wenn der Druck von 1 Meter Quecksilber bis 4,9794 Meter wächst.

§ 62. Die Dichtigkeit der Atmosphäre nimmt in geometrischem Verhältnisse ab.

§ 62. Abnahme der Dichtigkeit der Atmosphäre bei zunehmender Höhe. Vermittelst des Mariotte'schen Gesetzes läßt sich nun finden, in welchem Verhältnisse die Dichtigkeit der Atmosphäre von unten nach oben abnimmt, vorausgesetzt, daß sie sich vollkommen in Ruhe befindet und überall gleiche Temperatur hat. Man denke sich die Atmosphäre in unendlich niedrige, der Erdoberfläche parallele Schichten getheilt, dann muß jede folgende aufwärts eine geringere Dichtigkeit haben, und man muß endlich zu einer Schicht gelangen, deren Dichtigkeit so gering ist, daß ihr Gewicht = 0 angenommen werden kann. Hier wird das Barometer auf Null stehen.

Geht man von dieser Schicht wieder abwärts, so halte die nächst tiefere Schicht A (s. folg. S.) durch ihr Gewicht einer Quecksilbersäule von a Millimeter das Gleichgewicht, und durch ihr Gewicht werde die nächst darunter liegende Schicht (B) n mal so dicht, also auch n mal so schwer als A. B wird also durch ihr Gewicht na Millimeter Quecksilber das Gleichgewicht halten.

Ein Barometer, welches unter B steht und daher den Druck von A und B erhält, muß $a + na$, d. i. $(1 + n)\,a$ Millimeter hoch stehen.

Die dritte Schicht C erleidet demnach einen Druck, welcher gleich $(1 + n)\,a$ Millimeter Quecksilber ist. Durch einen Druck von a Millimeter wurde die Schicht B so dicht, daß sie durch ihr Gewicht einer na Millimeter hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht hielt. Die Schicht C, welche einen $(1 + n)$mal so großen Druck als B erleidet, muß $(1 + n)$mal dichter als B werden, also durch ihr Gewicht auch einer $(1 + n)$mal so hohen Quecksilbersäule das Gleichgewicht halten, als B, d. i. $(1 + n)\,na$ Millimeter Quecksilber. Da nun das Gewicht von A und B = dem von $(1 + n)\,a$ Millimeter Quecksilber war, so ist das von A, B und C = dem von $(1 + n)\,a + (1 + n)\,na$, d. i. $= (1 + n)^2 a$ Millimeter Quecksilber, und der Barometerstand muß unter C $= (1 + n)^2 \cdot a$ Millimeter sein.

Die vierte Schicht D erleidet hiernach einen $(1 + n)^2$mal so großen Druck, als B, muß also auch $(1 + n)^2$mal so dicht, also auch $(1 + n)^2$mal so schwer sein, als B. Ihr Gewicht muß also gleich dem von $(1 + n)^2 na$ Millimeter Quecksilber sein. Folglich ist das Gewicht von A, B, C und D zusammen genommen $= (1 + n)^2 a + (1 + n)^2 na$, d. i. $= (1 + n)^3 a$. Das Barometer wird also unter der Schicht D $(1 + n)^3 a$ Millimeter hoch stehen. Ebenso läßt sich folgern, daß der Barometerstand unter der fünften Schicht E $= (1 + n)^4 a$, unter der sechsten Schicht F $= (1 + n)^5 a$ u. s. w. sein muß.

Hieraus ergiebt sich für die Dichtigkeiten der einzelnen Luftschichten, sowie für die Barometerstände unter denselben folgendes Schema:

Schema für die Zunahme der Luftdichtigkeit von oben nach unten.

Luftschicht.	Dichtigkeit der Luftschicht, ausgedrückt durch die Höhe der Quecksilbersäule, welcher sie das Gleichgewicht hält.	Barometerstände unter den einzelnen Luftschichten.
A	a	a
B	na	(1 + n) a
C	(1 + n) na	$(1 + n)^2$ a
D	$(1 + n)^2$ na	$(1 + n)^3$ a
E	$(1 + n)^3$ na	$(1 + n)^4$ a
F	$(1 + n)^4$ na	$(1 + n)^5$ a
G	$(1 + n)^5$ na	

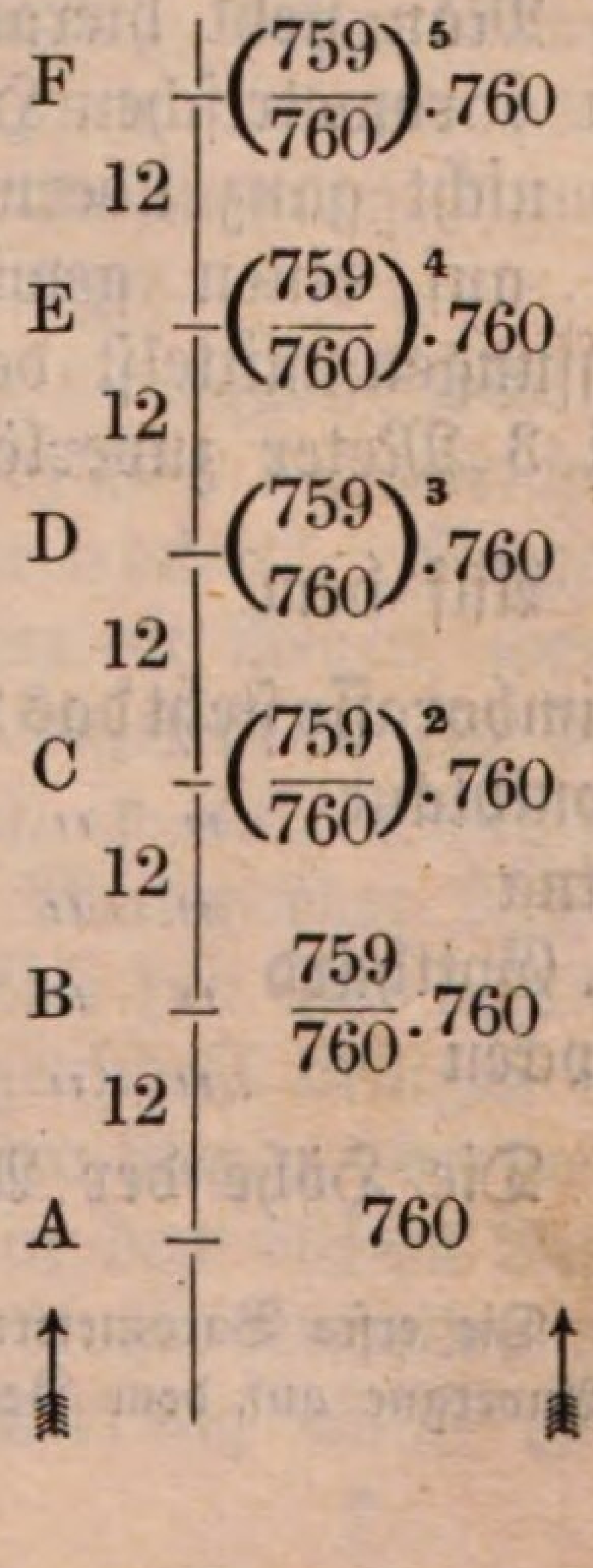
Die Dichtigkeiten der Luftschichten, sowie die Barometerstände bilden also eine geometrische Reihe. Da nun in jeder geometrischen Reihe die Glieder, welche gleichen Abstand von einander haben, z. B. das 1ste, 4te, 7te, 10te 2c., oder das 1ste, 6te, 11te, 16te 2c. wieder eine geometrische Reihe bilden, so folgt:

Die Dichtigkeiten der Luft und die Barometerstände in Höhen, welche eine arithmetische Progression bilden, stehen in geometrischer Progression.

Z. B. Die Barometerstände in 100 Meter, 200 Meter, 300 Meter, 400 Meter 2c. Höhe, oder in den Höhen von 12 Meter, 2 . 12 Meter, 3 . 12 Meter 2c.

§ 63. Schema für die Barometerstände bei zunehmender Höhe.

§ 63. Die Erfahrung lehrt, daß, wenn das Barometer bei einer Temperatur von 1/2 Grad an dem Orte A 76 Centimeter hoch steht, und man 12 Meter höher, bis zum Orte B steigt, ersteres um 1 Millimeter, also von 760 Millimeter auf 759 sinkt. Der Barometerstand in B ist also $\frac{759}{760}$ mal so hoch, als in A. Demnach muß (§ 62) im Orte C, welcher wieder 12 Meter höher liegt, als B, das Barometer $\frac{759}{760}$ mal so hoch stehen, als in B u. s. f. Demnach sind die Barometerstände an den Orten A, B, C, D, E, F, von denen jeder folgende um 12 Meter höher liegt, als der vorangehende, wie nebenstehend.



Der Barometerstand in einem Orte, welcher n . 12 Meter höher als A liegt, ist dann $\left(\frac{759}{760}\right)^n \cdot 760$ Millimeter.

Höhenmessung vermittelst des Barometers.

Hiernach wäre es nun leicht, aus dem Unterschiede der Barometerstände zweier Orte ihren Höhenunterschied zu bestimmen, wenn nicht noch andere Umstände zu berücksichtigen wären.

Denn gesetzt, an einem Orte M stände das Barometer auf 420 Millim., so läge M x . 12 Meter über A, wo x aus der Gleichung $\left(\frac{759}{760}\right)^x \cdot 760 = 420$ sich bestimmen ließe.

Nämlich: Eine Luftsäule von bestimmter Höhe hält einer desto höheren Quecksilbersäule das Gleichgewicht, je kälter die Luft oder je wärmer das Quecksilber ist; ferner: Die Feuchtigkeit der Luft verändert ihre Schwere. Wegen der Capillardepression steht das Quecksilber etwas niedriger, als es ohne dieselbe stehen würde.

Jeder dieser Umstände macht beim Höhenmessen eine besondere Correctur nöthig. Z. B. Für jeden Celsius'schen Wärmegrad dehnt sich die Quecksilbersäule um $^1/_{5550}$, die Luftsäule um $^1/_{216}$ ihrer Länge aus. Dazu kommt noch, daß das Barometer an demselben Orte zu verschiedenen Zeiten verschieden hoch steht; es muß daher der Barometerstand an den beiden zu vergleichenden Orten zu gleicher Zeit beobachtet werden. Liegen die beiden Orte zu weit auseinander, so kann der Fall eintreten, daß an dem einen Beobachtungsorte der Barometerstand durch Wind eine Aenderung erleidet, während die Luft an dem andern ruhig ist.

Man sieht hieraus, daß unter den vielen Schwierigkeiten, welche den barometrischen Höhenmessungen entgegenstehen, auch solche sind, die sich nicht ganz überwinden lassen; daher sind auch die Resultate nur bis auf einen gewissen Grad zuverlässig. Die genauesten Höhenmessungen mittelst des Barometers sind bei 1000 Meter ungefähr bis auf 3 Meter zuverlässig.

Barometerstände in einigen bekannten Höhen.

Auf dem

Chimborasso steht das Barom.	bei 6300	Mtr. Höhe auf	$12^5/_6$	Zoll = 34 Cent.
Montblanc „ „	„ „ 4600	„ „ „	16	„ = 43 „
Aetna „ „	„ „ 3230	„ „ „	19	„ = 51 „
St. Gotthard „ „	„ „ 2380	„ „ „	21	„ = 56,7 „
Brocken „ „	„ „ 1145	„ „ „	$24^1/_2$	„ = 66 „

Die Höhe der Atmosphäre hat man auf 6—10 Meilen geschätzt.

Die erste Barometermessung wurde 1648 auf Pascal's Veranlassung zu Clermont in Auvergne auf dem Berge Puy de Dome angestellt.

§ 64. Veränderungen des Barometerstandes. Der Barometerstand ist, wie oben erwähnt, an demselben Orte nicht immer derselbe, sondern er ändert sich fortwährend. Diese Veränderungen nennt man Schwankungen und unterscheidet periodische und zufällige Schwankungen. Erstere sind solche, welche regelmäßig zu gewissen Zeiten eintreten, letztere sind unregelmäßige. § 64. Schwankungen des Barometerstandes.

A. v. Humboldt hat folgendes Gesetz gefunden: In den Aequatorial-Gegenden steht das Barometer um 9 Uhr Morgens am höchsten. Von da sinkt es bis 4 oder 4½ Uhr Nachmittags; dann steigt es bis 11 Uhr Abends, sinkt von da wieder bis 4 Uhr Morgens und steigt dann wieder bis 9 Uhr. Diese Schwankungen sind so regelmäßig, daß man aus dem Barometerstande die Zeit erkennen könnte, wenn sie nicht zu gering, also zu unmerklich wären; denn der Unterschied zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Stande ist nur ungefähr 2 Millimeter.

Auch in unsern Gegenden finden solche periodische Schwankungen statt; aber sie werden durch die häufig dazwischen eintretenden zufälligen so sehr verwischt, daß man sie nur durch lange Beobachtungen erkennt. Im Winter findet ein Maximum des Barometerstandes Morgens um 9 Uhr und Abends um 9 Uhr statt, ein Minimum Nachmittags um 3 Uhr; im Sommer ein Maximum Morgens um 8 Uhr und Abends um 11 Uhr, ein Minimum Nachmittags um 4 Uhr.

Die Ursache der Barometerschwankungen ist die ungleiche und sich stets ändernde Erwärmung der Luftmasse, sowie die Aenderung des Wassergehalts derselben.

Wird nämlich die Luft erwärmt, so steigt sie in die Höhe und fließt oben ab; das Barometer muß demnach fallen. Ebenso muß der Barometerstand niedriger werden, wenn sich die in der Luft enthaltenen Wasserdünste niederschlagen. Da jedoch die Spannung dieser Dünste höchstens einige Millimeter beträgt und dieselben sich niemals ganz niederschlagen, so ist der Einfluß des Feuchtigkeitszustandes der Atmosphäre auf den Barometerstand immer nur ein geringer.

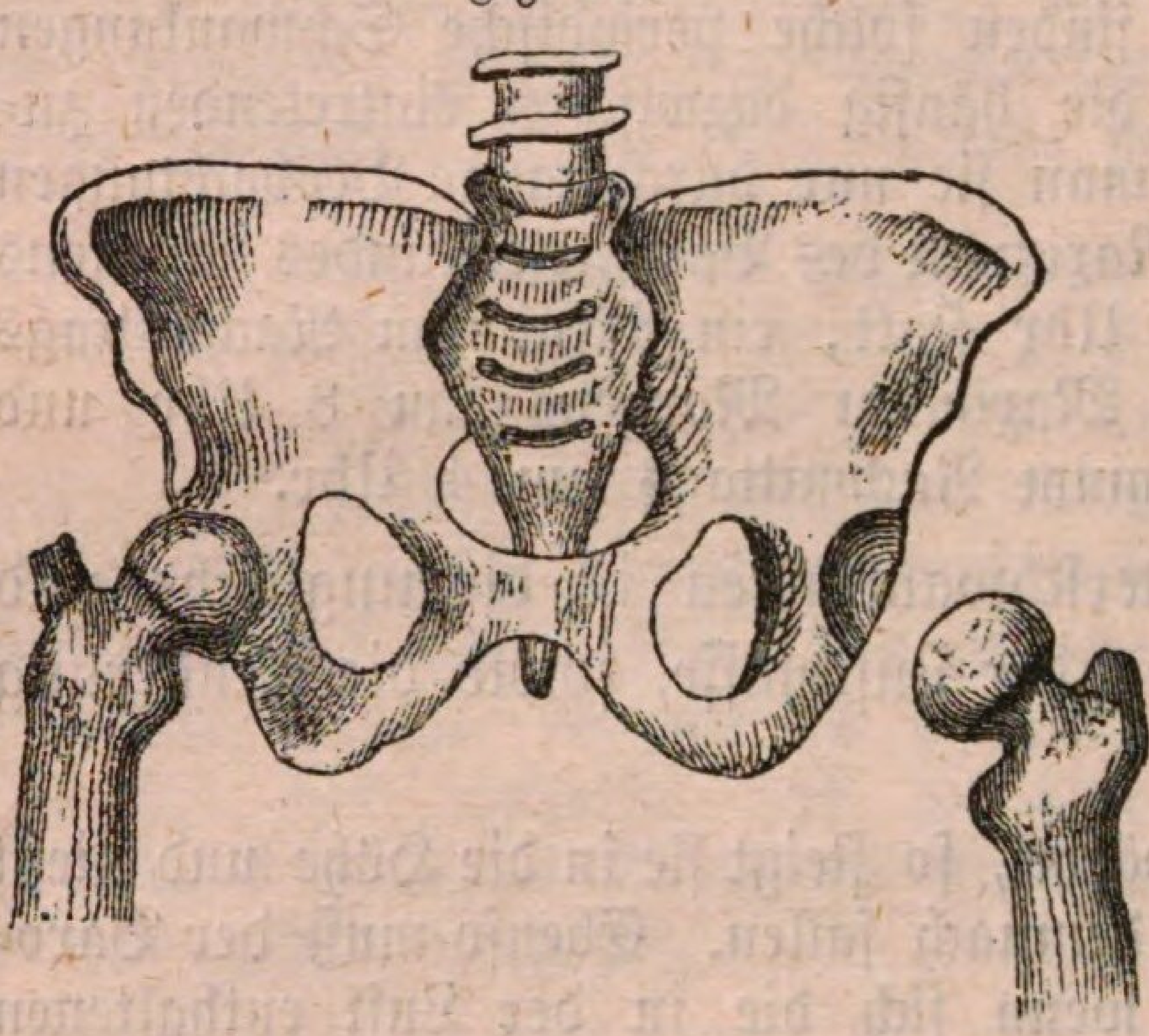
Ein Wetteranzeiger ist das Barometer nicht, wenigstens nicht in dem Sinne, auf welchen die gebräuchlichen Bezeichnungen der verschiedenen Barometerstände, wie „Schön-Wetter", „Sehr trocken", „Regen" oder „Wind" u. dergl. hindeuten. Denn wir haben oft Regen, wenn das Barometer auf „Schön Wetter" steht, und umgekehrt. In den Ruf eines solchen ist es nur dadurch gekommen, daß in unsern Gegenden öfter ein niedriger Barometerstand mit trübem Wetter oder Regen zusammenfällt. Die Süd- und Westwinde sind nämlich für uns warme und zugleich feuchte Winde. Wegen der erstern Eigenschaft bringen sie uns einen niederen Barometerstand, wegen der zweiten Regen oder doch trübes Wetter. Aendert sich nun die Windrichtung in den oberen Luftschichten früher, als in den unteren, so kann man wohl bisweilen an dem Barometer eine Wind- und somit Wetter-Veränderung einige Zeit Das Barometer als Wetterglas.

vor deren Eintritt wahrnehmen. Ebenso ist vor oder bei starkem Winde der Barometerstand niedrig. Denn ist die Spannung der Atmosphäre in unseren Gegenden ungewöhnlich gering, so muß (nach dem Mariotte'schen Gesetze) aus anderen Gegenden, wo die Spannung größer ist, Luft zuströmen, also Wind entstehen. Ist anderwärts die Spannung der Luft bedeutend geringer, als bei uns, so strömt die Luft von uns dorthin zu, es entsteht also Wind und das Barometer muß bei uns fallen.

§ 65. Wirkungen des Luftdruckes.

§ 65. Auf dem Drucke der Luft, ihrer Ausdehnsamkeit und der Eigenschaft, daß diese mit der Dichtigkeit in gleichem Verhältnisse wächst, beruhen eine Menge Erscheinungen und die Einrichtung vieler Instrumente. Z. B.:

Fig. 85.



1) Von merkwürdiger Bedeutung ist der Luftdruck für die Glieder des menschlichen Körpers. Der Knochen des Oberschenkels ist nämlich am oberen Ende mit einem kugelförmigen Ansatze, dem Gelenkknopfe, versehen, und dieser paßt in eine entsprechende Vertiefung des Hüftknochens, die Gelenkpfanne (siehe Fig. 85). Diese beiden Knochentheile sind von dem Kapselbande, d. i. einer sehnigen Haut umschlossen, welche an dem Halse des Gelenkknopfes und den Rändern der Pfanne angewachsen ist. Legt man nun einen menschlichen Leichnam so auf einen Tisch, daß das eine Bein frei herunterhängt, und man schneidet alle Muskeln, welche das erwähnte Gelenk bekleiden, sowie das Kapselband durch, so sollte man, da nun jede Verbindung zwischen dem Beine und dem Oberkörper aufgehoben ist und die Pfanne noch nicht eine Halbkugel bildet, erwarten, daß das Bein herunterfiele. Aber es bleibt hängen. Pfanne und Gelenkknopf sind nämlich mit einer außerordentlich glatten Substanz, mit Knorpel, bekleidet und passen luftdicht in einander, so daß das Bein vom Luftdrucke getragen wird, eine bedeutende Erleichterung für die Muskeln, die es sonst halten müßten. Daß der Luftdruck diesen Dienst leistet, wird erstens dadurch bestätigt, daß, wenn man die Pfanne von außen durchbohrt, das Bein sogleich abfällt, sobald die Spitze des Bohrers die Pfannenwand öffnet, zweitens dadurch, daß, wenn man das Loch mit dem Finger zuhält und den Gelenkknopf wieder in die Pfanne einpaßt, das Bein hängen bleibt, aber wieder abfällt, wenn man den Finger wegnimmt.

2) Der Heber (Fig. 86), eine gebogene Röhre, an welcher der eine Arm länger ist, als der andere. Wird diese Röhre mit Wasser gefüllt und der kürzere Arm in ein Gefäß mit Wasser getaucht, so leert sich das Gefäß so weit, bis das Niveau unter die Oeffnung b gesunken ist. Der Heber.

Fig. 86.



Erklärung. Der Luftdruck auf die im Heber enthaltene Flüssigkeit ist bei a so groß wie bei b; aber von dem Drucke bei a wird durch die im längeren Schenkel sa enthaltene Wassersäule mehr aufgehoben, als von dem bei b. Daher erfolgt in der Röhre eine Bewegung von b nach a.

3) Intermittirende Quellen, das sind solche, welche mit Unterbrechungen fließen.

Befindet sich in der Erde ein Bassin, welches mit einem Heber in Verbindung steht, so fließt das Wasser ab, sobald das Niveau im Bassin den höchsten Punkt des Hebers erreicht hat. Ist das Bassin geleert, so hört der Quell auf zu fließen, bis ersteres wieder gefüllt ist.

4) Das Athmen.

Das Einathmen geschieht durch Erweiterung, das Ausathmen durch Zusammendrückung der Lungen. Im ersten Falle wird die Luft in denselben verdünnt, im zweiten verdichtet.

5) Das Saugen, Rauchen, Trinken. Das Saugen.

Indem man durch Zurückziehen der Zunge im Munde die Luft verdünnt, wird die aufzusaugende Flüssigkeit durch die äußere Luft in den Mund gedrückt.

6) Der Stechheber, eine Glasröhre, welche sich oben bauchig erweitert, und deren man sich bedient, um aus einem Fasse durch das Spundloch eine Probe der Flüssigkeit zu ziehen. Der Stechheber.

Fig. 87.



Wie wird mit dem Stechheber operirt und welche Vorgänge finden hier statt?

7) Die Handspritze, eine cylindrische Röhre, in welcher sich ein Kolben bewegt. Die Handspritze.

Wird die Spritze in Wasser getaucht und der Kolben in die Höhe gezogen, so füllt sich der Cylinder mit Wasser. Warum?

8) Die Saugpumpe (Fig. 87). Sie besteht aus dem Stiefel a, dem Saugrohre b, dem Ausgußrohre c, dem durchbohrten Kolben d, und den beiden sich nach oben öffnenden Ventilen über dem Kolben und dem Saugrohre. Die Saugpumpe.

Auf welche Weise wird dieselbe benutzt und welche Vorgänge finden dabei statt?

Passau

Die Druckpumpe.

9) Die Druckpumpe (Fig. 88). Ihre Bestandtheile sind: der Stiefel a, das Saugrohr b, das Steigrohr c, der Kolben d und die beiden Ventile über dem Saugrohr und in dem Steigrohr.

Fig. 88.



Beschreibe und erkläre ihren Gebrauch.

Der Heronsball.

10) Der Heronsball (Fig. 89), ein verschlossenes Gefäß, durch dessen oberen Theil eine Röhre geht, die fast bis zum Boden reicht.

Fig. 89.



Heron von Alexandrien, 210 v. Chr.

Welches Experiment läßt sich mit ihm anstellen.

Die Feuerspritze.

11) Die Feuerspritze (Fig. 90) besteht aus zwei Druckpumpen, welche abwechselnd das Wasser in einen Heronsball (Windkessel genannt) treiben.

Die Luftpumpe.

12) Die Luftpumpe (Fig. 91). Sie besteht erstens aus dem Stiefel A, in welchem sich ein Kolben bewegt, zweitens dem Teller B, welcher

Fig. 90.

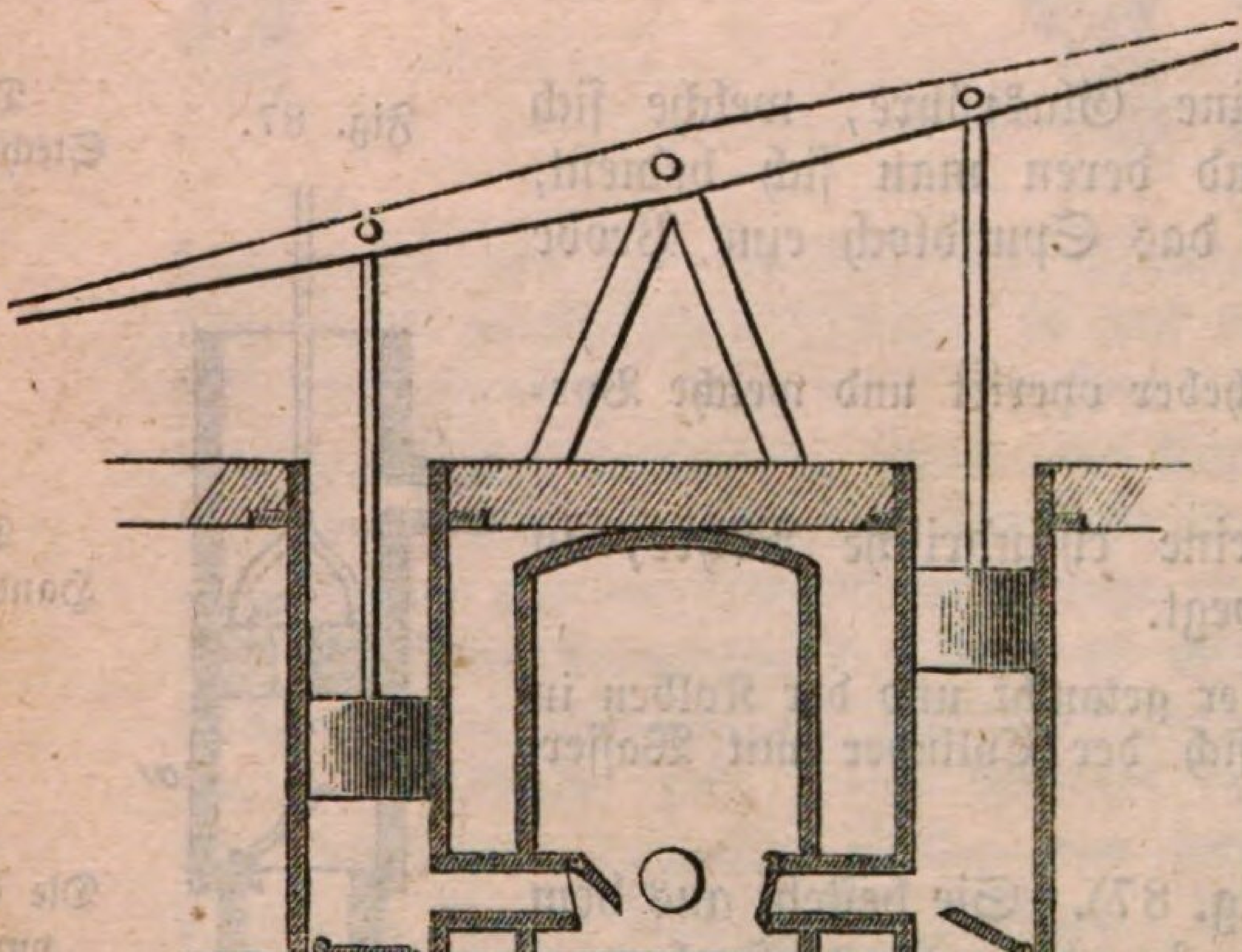
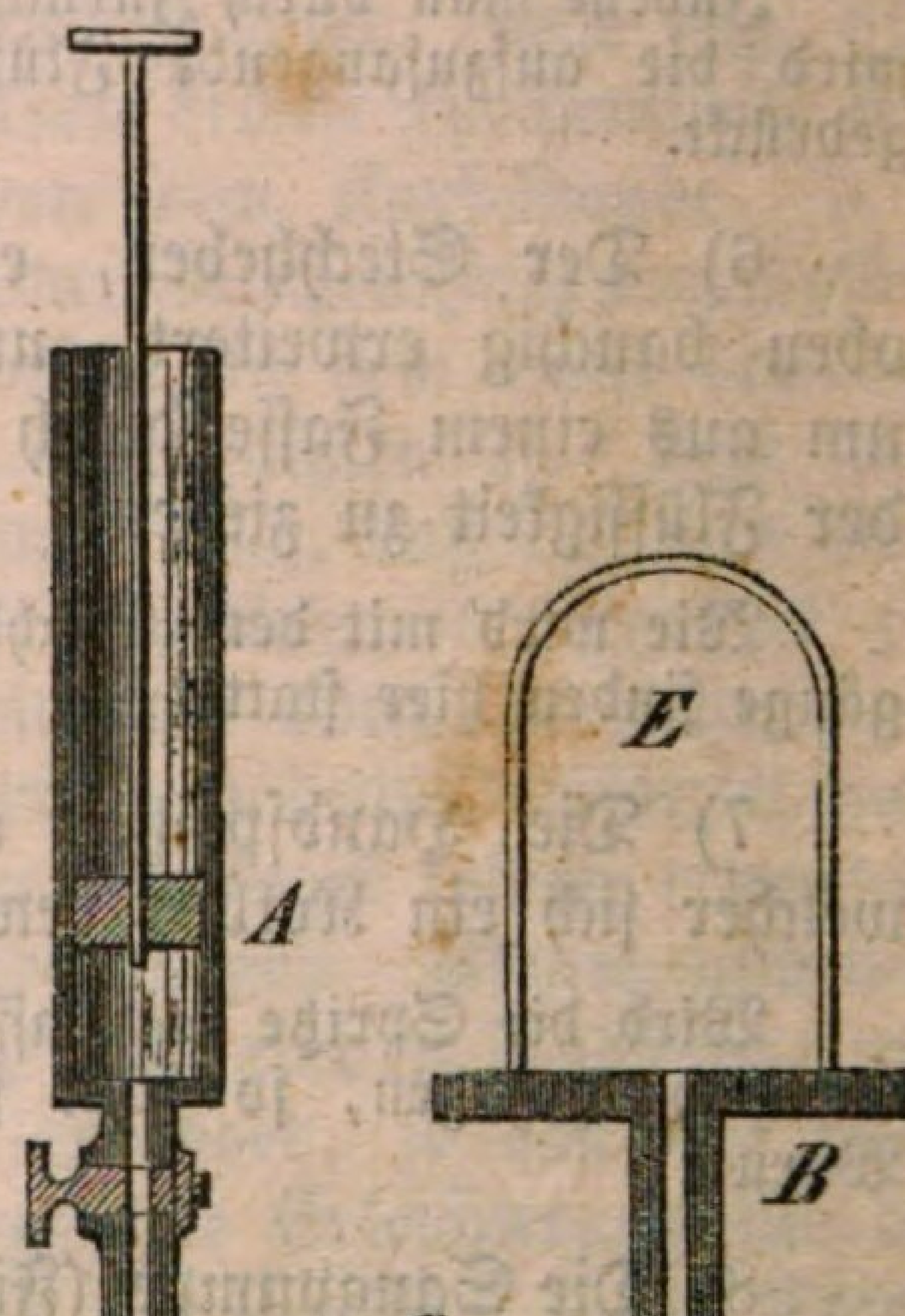


Fig. 91.

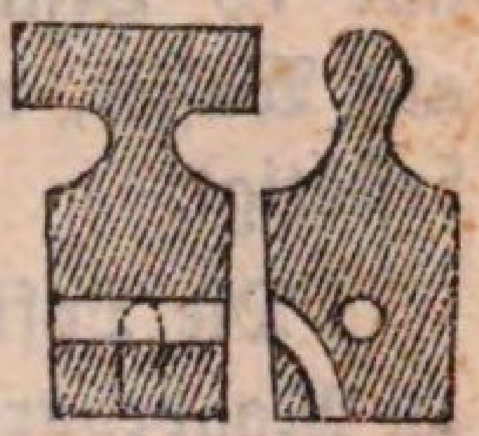


mit dem Stiefel durch die Röhre C in Verbindung steht, und auf welchen die Glasglocke E (Recipient) gestellt wird, in welcher man die Luft verdünnen will, und endlich drittens aus dem Hahne (Fig. 92 S. 101), welcher doppelt durchbohrt ist, so daß man den Stiefel einmal mit dem

Recipienten und das anderemal mit der äußeren Luft in Verbindung setzen kann.

Wie verdünnt man die Luft in dem Recipienten?

Fig. 92.



Versuche mit der Luftpumpe.

Versuche mit der Luftpumpe:

1) Der Recipient wird von dem äußeren Luftdrucke so auf den Teller gedrückt, daß man ihn erst dann wieder abnehmen kann, wenn man wieder Luft hat einströmen lassen.

2) Die Magdeburger Halbkugeln.

3) Setzt man als Recipient einen unten und oben offenen Metallcylinder auf den Teller und schließt ihn oben luftdicht mit einer Blase, so wird diese beim Auspumpen von der äußeren Luft zerdrückt; hält sie aber den Luftdruck aus und man durchsticht sie mit einem sehr spitzen Federmesser, so wird sie in kleine Stücke zertrümmert.

4) Nimmt man anstatt der Glasscheibe einen oben ausgehöhlten Holzdeckel und gießt Quecksilber darauf, so wird dieses durch das Holz gedrückt.

5) Versuch mit der Barometerprobe (ein kleines Barometer).

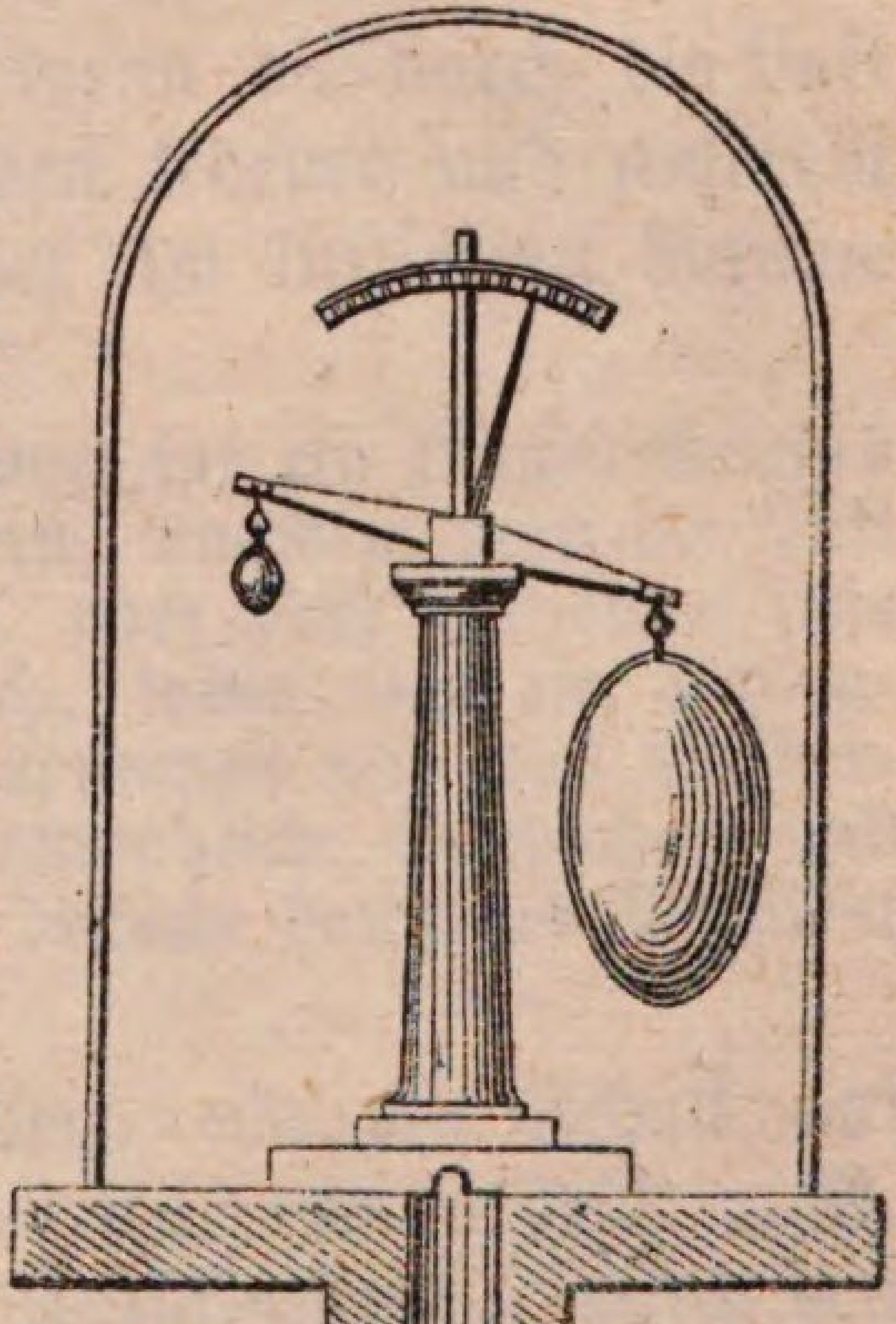
6) Der Heronsball springt unter dem Recipienten.

7) Ein verschrumpfter Apfel wird unter dem Recipienten ganz glatt; eine schlaffe zugebundene Blase schwillt an und platzt wohl gar.

8) Macht man an dem spitzen Ende eines Eies eine kleine Oeffnung in dasselbe, stellt es, diese nach unten gekehrt, in ein Glas und bringt es unter den Recipienten, so treibt die am runden Ende des Eies befindliche Luftblase das Innere desselben heraus, sobald man die Luft verdünnt. Die ganze Masse geht aber in das Ei zurück, wenn man wieder Luft in den Recipienten treten läßt.

9) Aus einem Gefäße mit Wasser steigen an den Wänden Luftblasen in die Höhe, ein Beweis, daß sich zwischen dem Wasser und den Gefäßwänden Lufttheilchen befinden.

Fig. 93.



10) Hängen an einem Wagebalken zwei Gewichte, ein kleines massives und ein größeres hohles, welche bei mittlerer Dichtigkeit der Luft einander das Gleichgewicht halten, und man stellt diesen Apparat unter den Recipienten (Fig. 93), so sinkt das größere Gewicht, wenn man die Luft in dem Recipienten verdünnt.

11) Eine Flaumfeder fällt im luftverdünnten Raume so schnell zu Boden als ein Geldstück.

12) Eine unter dem Recipienten angeschlagene Glocke hört man nicht.

13) Laues Wasser kocht, kaltes Wasser kann zum Gefrieren gebracht werden.

14) Ein Licht verlischt.

15) Ausstrahlung der Electricität im luftleeren Raume.

Die Saugpumpe war schon lange vorher, ehe man den Luftdruck kannte, im Gebrauch; man erklärte sich das Aufsteigen des Wassers in derselben durch die Annahme, daß die Natur einen Abscheu vor dem leeren Raume habe. Um das Jahr 1643 machte man zufällig die Erfahrung, daß die Saugpumpe das Wasser nur 10 Meter hoch hebe. Dies brachte Torricelli auf die Ver-

muthung, daß wohl die Schwere der Luft das Wasser in der Pumpe in die Höhe treibe. Er schloß nun: Wenn der Luftdruck einer Wassersäule von 10 Meter das Gleichgewicht hält, so muß derselbe eine Quecksilbersäule von nur 76 Centimeter Höhe tragen, da das Quecksilber $13^1/_2$ mal so schwer ist, als Wasser, und fand durch den in § 59 angeführten Versuch seine Ansicht bestätigt.

Die Luftpumpe wurde von Otto v. Guerike (1602—1686), Rathsherrn zu Magdeburg, erfunden und mit ihr zu Regensburg vor Kaiser Ferdinand III. experimentirt.

Die Gebrüder Montgolfier ließen den ersten mit erwärmter Luft gefüllten Ballon 1783 den 5. Juni zu Anonay steigen. Bald darauf füllte Charles, ein bekannter Physiker zu Paris, einen Ballon mit Wasserstoffgas, welches fast 14 mal leichter ist, als atmosphärische Luft. Sein cubischer Inhalt betrug 495 Cubikmeter. Es wiegen aber 495 Cubikmeter Luft ungefähr 607 Kilogramm, eben so viel Wasserstoff 43,5 Kilogramm, er hatte demnach 564 Kilogramm Tragkraft. Charles stieg selbst nebst Robert mit diesem Ballon auf und erreichte binnen einigen Minuten eine Höhe von 750 bis 940 Meter. Gay Lussac stieg bis zu einer Höhe von 6900 Meter und Glaisher und Coxwell erreichten im Jahre 1862 sogar eine Höhe von 10,000 Meter.

Zweiter Abschnitt.

Der Schall.

A. Allgemeine Gesetze des Schalles.

§ 66. Erklärung. Schall ist jede Einwirkung auf unser Gehör. Ton nennt man einen Schall, wenn man Rücksicht auf seine Höhe und Tiefe nimmt. Was ein hoher oder tiefer Ton sei, läßt sich eben so wenig erklären, als, was bitter, salzig, was grün, gelb, und dergl. ist. Sinnes-Eindrücke lassen sich nicht definiren. Wodurch aber ein hoher oder tiefer Ton erzeugt wird, werden wir später sehen. § 66. Erklärung von Schall, Ton.

§ 67. So oft ein fester Körper mit einer gewissen Geschwindigkeit vibrirt, z. B. eine Stimmgabel, eine Saite, hören wir einen Schall. Da nun unser Gehörnerv einen Eindruck erhält, ohne daß er von dem den Schall hervorbringenden Körper berührt wird, so nehmen wir an, daß jener Eindruck von verdichteten und verdünnten Luftschichten herrührt, welche nothwendig von einem so vibrirenden Körper erzeugt werden und unser Ohr treffen. Dies wird bestätigt: § 67. Entstehung des Schalles.

1) Dadurch, daß man keinen Schall hört, wenn die durch die Luft vermittelte Verbindung zwischen dem vibrirenden Körper und unserem Ohre aufgehoben wird, wenn z. B. der Körper im luftleeren Raume vibrirt.

Stellt man unter den Recipienten der Luftpumpe auf ein kleines weiches Kissen ein Uhrwerk mit einem Wecker und löst diesen, nachdem man die Luft möglichst verdünnt hat, aus, so hört man keinen, oder doch nur einen sehr geringen Schall. Noch interessanter ist der Versuch, wenn man ein Schlagwerk hat, welches so lange schlägt, als das Auspumpen und das Wiedereinströmen der Luft dauert, weil man dann das allmähliche Schwächer- und Stärkerwerden des Schalles beobachten kann, auch braucht dann der Recipient keine Stopfbüchse zu haben.

2) Dadurch, daß man auch in den Fällen, wo ein Schall auf andere Weise, als durch Vibrationen eines festen Körpers entsteht, z. B. durch Abschießen eines Gewehres, durch einen Peitschenschlag, durch den Blitz, durch Blasinstrumente, das Entstehen solcher verdichteter und verdünnter Luftschichten beweisen kann.

In allen Fällen nämlich, in welchen eine Quantität Luft plötzlich aus ihrer Lage gedrängt wird, müssen solche verdichtete und verdünnte Luftschichten entstehen, ähnlich so, wie in einer größeren Wassermasse, in welcher man eine kleine Quantität Wasser plötzlich aus ihrer Lage drängt, z. B. indem man einen Stein hineinwirft, abwechselnd Wasserberge und Wasserthäler entstehen.

Der Stein drängt das Wasser nach allen Seiten, und da dieses unzusammendrückbar ist, so muß rings um den Stein eine Erhöhung entstehen. Diese fließt nach außen und nach innen ab; die nach außen abfließende Wassermenge bildet auf der zunächst liegenden Fläche eine ringförmige Erhöhung und scheint so nach außen, sich immer mehr erweiternd, fortzuschreiten; das nach innen abfließende Wasser bildet einen Wasserkegel; dieser fließt wieder nach allen Seiten hin ab und bildet so eine neue kreisrunde Erhöhung, und so fort. Ein ähnlicher Vorgang muß nun in der Luft eintreten, wenn eine plötzliche Verschiebung einer Quantität Luft stattfindet. Da wir uns aber in der Luftmasse befinden und die Luft zusammendrückbar ist, so müssen statt der Erhöhungen und Vertiefungen verdichtete und verdünnte Luftschichten entstehen, und diese müssen nicht kreis-, sondern kugelförmig sein.

Erklärung von Schallwelle, Länge der Schallwelle.

Die kugelförmigen, verdichteten und verdünnten Luftschichten, welche von einem schallenden Körper ausgehen, heißen Schallwellen; die Dicke einer verdichteten und einer verdünnten Luftschicht zusammengenommen nennt man Länge einer Schallwelle.

Es ist wohl zu beachten, daß das von dem oben erwähnten Steine verdrängte Wasser nicht, wie es die entstehenden Wasserwellen thun, sich bis zum Ufer hinbewegt, sondern nur die nächstliegenden Wassertheile in Bewegung setzt und dann wieder zurückfließt. Dasselbe thun die letzteren, nachdem sie

Fig. 94.

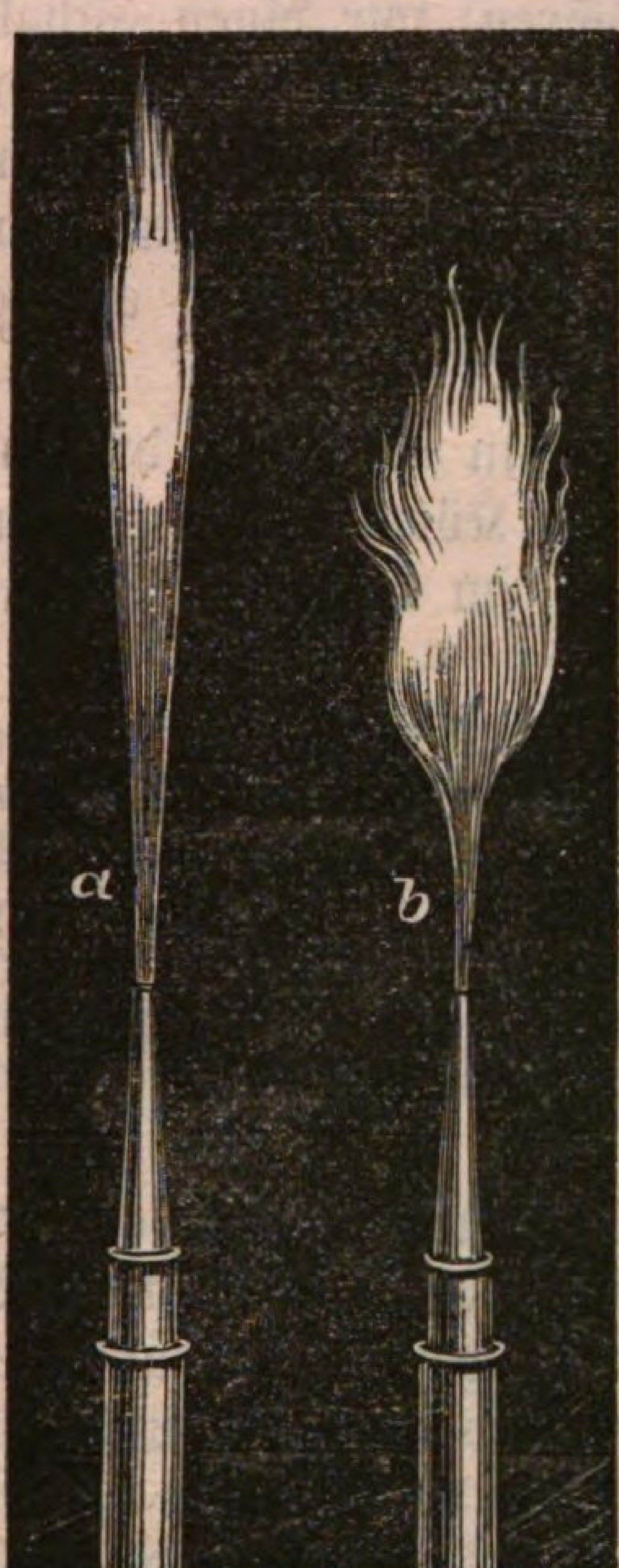


Fig. 95.



die darauffolgenden Theile in Bewegung gesetzt haben und so fort; denn ein Stückchen Holz, neben welchem der Stein in's Wasser geworfen wurde, schwimmt nicht bis an's Ufer, sondern rückt nur im ersten Augenblicke ein wenig aus seiner Lage, steigt dann aber auf derselben Stelle auf und ab. Also nicht das Wasser, sondern die Wellenbewegung schreitet bis zum Ufer fort.

Die analoge Erscheinung in der Luft läßt sich durch folgende Versuche sichtbar machen:

Erzeugt man durch einen Gasbrenner mit runder, etwas großer Oeffnung eine fast einen Meter hohe Gasflamme, Fig. 94a, so zuckt diese bei jedem scharfen Tone, den man erzeugt, z. B. indem man an eine kleine Glocke schlägt, oder pfeift. (Fig. b.) (Die durch die Flamme gehenden Schallwellen stören das

Aufsteigen derselben.) — Stellt man ein trichterförmiges Gefäß von starkem Blech (Fig. 95), welches vorn mit einem Trommelfell geschlossen ist, einige Meter weit von der Flamme (Fig. 94) so auf, daß die Oeffnung gegen die Flamme gerichtet ist, und schlägt mit einem Paukenschlegel auf das Fell, so zuckt die Flamme zweimal, das erste mal durch die Schallwellen, das zweite Mal durch die ausströmende im Gefäße comprimirte Luft.

§ 68. Aus der im vorigen Paragraphen erörterten Art der Entstehung und Verbreitung des Schalles lassen sich folgende Gesetze folgern, deren Richtigkeit durch die Erfahrung bestätigt wird:

§ 68. Gesetze, welche sich aus der Entstehung des Schalles ergeben.

1) Ein fester Körper ist desto geeigneter, einen Schall zu erzeugen, je elastischer er ist.

Denn die Vibrationen werden nur durch die Elasticität möglich. Zur Verfertigung von Saiten, Glocken, Stimmgabeln u. dgl. können nur elastische Materien gebraucht werden.

2) Die Fortpflanzung des Schalles erfordert eine gewisse Zeit, d. h. es vergeht eine gewisse Zeit, ehe der Schall von seinem Entstehungsorte bis zu unserem Ohre gelangt.

Denn jede Bewegung erfordert eine gewisse Zeit, folglich auch die der Schallwellen vom Entstehungsorte bis zu unserem Ohre.

Wird in der Ferne ein Gewehr abgeschossen, so folgt der Knall erst längere Zeit nach dem Blitze. Die Axt des Holzhauers sieht man früher auffallen, als man den Schlag hört. Soldaten, welche in einem langen Zuge nach der vorangehenden Musik marschiren, haben nicht gleichen Schritt; die letzten treten später auf, als die ersten, wie man aus der verschiedenen Bewegung ihrer Helme sieht.

3) Die Stärke des Schalles nimmt ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt.

Denn da die Schallwellen Hohlkugeln sind, die Oberflächen von Kugeln aber sich wie die Quadrate der Radien verhalten, so nimmt eine Schallwelle, welche n mal so weit vom Entstehungsorte des Schalles entfernt ist, als eine andere, einen n^2mal so großen Raum ein, hat also n^2mal weniger Intensität als diese. Die Erfahrung lehrt auch, daß wir einen Schall desto schwächer hören, je weiter wir von dem Entstehungsorte entfernt sind.

4) Wenn die Schallwellen einen festen Körper treffen, so werden sie von demselben reflectirt.

Denn trifft eine verdichtete Luftschicht auf einen festen Körper, so muß sie rückwärts wieder die Luft verdichten.

Feste Körper erzeugen ein Echo.

Es soll nun die Fortpflanzung, die Stärke und die Reflexion des Schalles noch näher betrachtet werden.

§ 69. **Fortpflanzung des Schalles.** 1) Der Schall wird nicht nur durch luftförmige, sondern auch durch feste und flüssige Körper fortgepflanzt, und zwar durch diese im Allgemeinen besser, als durch jene, d. h. wir hören ihn, wenn das Ohr mit dem schallenden Körper durch einen festen oder flüssigen Körper in Verbindung steht, unter

§ 69. Der Schall pflanzt sich auch durch feste und flüssige Körper fort.

sonst gleichen Umständen bis auf größere Entfernungen, und wie wir nachher sehen werden, auch früher, als wenn er durch die Luft zum Ohre gelangt.

Den Kanonendonner, den Hufschlag der Pferde, das Marschiren der Soldaten hört man in größerer Entfernung, wenn man das Ohr auf die Erde legt. Einen ankommenden Eisenbahnzug hört man in weit größerer Entfernung, wenn man das Ohr an die Schienen legt. Das Ticken einer Taschenuhr hört man deutlicher und auf größere Entfernung, wenn man sie auf das eine Ende eines langen Stabes legt und das Ohr an das andere Ende desselben hält. Derselbe Versuch läßt sich mit einer Stimmgabel anstellen.

Daß das Wasser den Schall fortleitet, erkennt man daraus, daß man das Zusammenschlagen zweier Steine unter dem Wasser auch über demselben hört.

Die Bewegung des Schalles ist gleichförmig.

2) Die Fortpflanzung des Schalles geschieht mit gleichförmiger Geschwindigkeit, und zwar beträgt dieselbe in der Luft ungefähr 340 Meter.

Genaue Versuche über die Fortpflanzung durch die Luft wurden im Juni 1822 an einem windstillen Abende bei Paris von Prony, Arago, Mathieu, Humboldt, Gay Lussac und Bouvard angestellt, indem diese sich auf zwei Stationen vertheilten und von 10 zu 10 Minuten Kanonenschüsse abfeuern ließen, von denen man Blitz und Knall auf beiden Stationen wahrnehmen konnte.

Die Fortleitung durch feste Körper haben Biot und Gay Lussac mittelst der fast 1000 Meter langen eisernen Wasserleitungsröhren von Paris beobachtet. Ein an dem einen Ende derselben erzeugter Schall wurde an dem anderen zweimal gehört, indem er sich einmal durch das Eisen, und einmal durch die in der Röhre enthaltene Luft, und zwar mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzte.

Versuche über die Fortleitung im Wasser haben Sturm und Colladon auf dem Genfer See angestellt.

Die Geschwindigkeit ist in verschiedenen Materien verschieden;

3) Verschiedene feste Materien leiten den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit fort. Dasselbe gilt für die flüssigen und luftförmigen Körper.

Chladni hat z. B. gefunden:

die Geschwindigkeit des Schalles ist in	Fischbein . . .	$6^2/_3$	mal,
" " " " " "	Pflaumbaumholz	$10^2/_3$	"
" " " " " "	Birnbaumholz .	$12^1/_2$	"
" " " " " "	Lindenholz . .	15	"
" " " " " "	Glas	$16^2/_3$	"
" " " " " "	Eisen	$16^2/_3$	"
" " " " " "	Tannenholz . .	18	"

so groß als in der Luft.

Die Geschwindigkeit des Schalles ist in	Aether . .	1039	Mtr.
" " " " " "	Alkohol. .	1157	"
" " " " " "	Terpentinöl	1276	"
" " " " " "	Wasser . .	1453	"
" " " " " "	Quecksilber.	1484	"

4) Ein und dieselbe Materie leitet den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit, wenn der Zustand der Massentheilchen verschieden ist. oft auch in derselben Materie verschieden;

Z. B. ein und dieselbe Holzart, von verschiedenen Stämmen genommen, leitet den Schall mit verschiedener Geschwindigkeit fort.

Bei ein und derselben Luftart ist die Geschwindigkeit desto größer, je höher ihre Temperatur ist. namentlich in der Luft.

In der atmosphärischen Luft ist die Schallgeschwindigkeit
bei 0^0 C = 332 Meter,
„ 10^0 C = 340 „

Anmerkung. Die oben stehende Tabelle für Flüssigkeiten gilt für eine Temperatur von + 10^0 C.

Die Feuchtigkeit vermindert die Leitungsfähigkeit der Luft.

Bei nebeligem Wetter hört man den Knall der Jagdgewehre schwächer und auf kürzere Entfernung, als bei heiterem.

5) Die Geschwindigkeit des Schalles ist unabhängig von der Schallquelle und der Höhe oder Tiefe des Schalles.

Der Knall eines Gewehres pflanzt sich mit derselben Geschwindigkeit fort, als der Ton der menschlichen Stimme. Wenn verschiedene Töne sich mit verschiedener Geschwindigkeit fortpflanzten, so müßte ein Concert, in größerer Entfernung gehört, ganz harmonielos klingen.

§ 70. **Stärke des Schalles.** Die Stärke des Schalles, und also auch die Entfernung, bis zu welcher sich der Schall fortpflanzt, läßt sich nicht messen, da wir zur Messung dieser Größen bis jetzt nur ein sehr unzuverlässiges Instrument besitzen, nämlich unser Ohr. Nur im Allgemeinen wissen wir, daß man einen Schall desto stärker und in desto größerer Entfernung hört, § 70. Die Stärke des Schalles.

1) Je größer die vibrirende Masse ist.

Große Glocken geben einen stärkeren Schall als kleine; die Baßgeige einen stärkeren als die Violine.

2) Je weiter die Schwingungen des schallenden Körpers sind.

Je stärker man eine Saite oder eine Glocke u. dgl. anschlägt, einen desto stärkeren Ton giebt sie.

3) Je größer die Leitungsfähigkeit des fortpflanzenden Mittels ist.

§ 71. **Zurückwerfung des Schalles.** Treffen Schallwellen eine feste Ebene, so müssen sie nach den Bewegungsgesetzen und dem Mariotteschen reflectirt werden, und zwar unter demselben Winkel, unter welchem sie auffallen. Hiernach scheint es, als müsse man so oft ein Echo hören, als der Schall eine feste Ebene trifft, z. B. in jedem Zimmer. Unser Ohr aber ist (wie jedes andere Sinnesorgan) so eingerichtet, daß es nur Eindrücke, die in Pausen auf einander folgen, von einander § 71. Das Echo.

zu unterscheiden vermag. Die Erfahrung lehrt nämlich, daß man in der Secunde nur ungefähr 9 Schälle hören kann. Man kann daher nur solche Schälle von einander unterscheiden, welche in Pausen von wenigstens $1/_9$ Secunde auf einander folgen. Kommt also das Echo in kürzerer Zeit zurück, als in $1/_9$ Secunde, so fällt es für unser Ohr mit dem ursprünglichen Schalle zusammen.

Dreht man ein Rad sehr schnell um seine Achse, so kann man die einzelnen Speichen nicht sehen. Fährt man sehr schnell mit dem Finger über ein Brett, auf welchem sehr nahe aneinander Vertiefungen eingeschnitten sind, so fühlt man die einzelnen Vertiefungen nicht, und fährt man mit einem Stäbchen darüber hin, so hört man nur einen zusammenhängenden Ton.

Aus diesen Betrachtungen ergiebt sich nun:

Ein- und mehrsilbiges, ein- und mehrfaches Echo.

1) Ein Echo kann nur gehört werden, wenn die reflectirende Ebene wenigstens 19 Meter oder in runder Zahl 20 Meter von dem Entstehungsorte des Schalles entfernt ist; jede nähere Ebene verstärkt nur den Schall.

2) Ein mehrsilbiges Echo, d. i. ein solches, welches ein mehrsilbiges Wort wiedergiebt, kann nur entstehen, wenn der reflectirende Gegenstand mehrmals 20 Meter weit entfernt ist.

3) Ein mehrfaches Echo, d. h. ein solches, welches dasselbe Wort mehrmals wiederholt, entsteht, wenn mehrere reflectirende Ebenen vorhanden sind, deren Entfernungen vom Entstehungsorte des Schalles wenigstens um je 20 Meter verschieden sind.

4) Ein Echo, welches nicht an dem Entstehungsorte des Schalles, sondern an einem andern Orte gehört wird, wird erzeugt, wenn die Schallwellen eine reflectirende Ebene in schiefer Richtung treffen, und die Strecke vom Entstehungsorte des Schalles bis zur reflectirenden Ebene und von da bis zum Beobachtungsorte wenigstens 2 . 20 d. i. 40 Meter größer ist, als die Distance zwischen diesem und dem Entstehungsorte.

5) Das vollkommenste Echo müßte man in dem Mittelpunkte einer Hohlkugel von einem daselbst erzeugten Schalle oder in dem Brennpunkte eines Ellipsoides von einem aus dem andern Brennpunkte ausgehenden Schalle hören.

Es giebt Kirchen, in denen zwei an gewissen Punkten stehende Personen sich leise mit einander unterhalten können, während die dazwischen stehenden nichts vernehmen.

Aber nicht blos Ebenen und nach bestimmten Gesetzen gekrümmte Flächen, sondern auch Gegenstände von ganz unregelmäßiger Gestalt, wie Bäume, Felsen u. dgl., sogar Wolken können ein Echo erzeugen.

Auf Chausseen wird der Peitschenknall von den Bäumen oft vielfach reflectirt, ebenso in Kieferwäldern. Ein vielfaches, mehrsilbiges Echo ist in Adersbach in Böhmen, auf der Heuscheuer in der Grafschaft Glatz. In großen Sälen, in Kirchen hört man oft zwar kein reines Echo, aber einen sogenannten Nachhall, wodurch das Verstehen gesprochener Worte sehr erschwert wird. Selbst in Stuben ist bisweilen eine Art Echo bemerkbar, was sich nur aus mehrmaliger Reflexion des Schalles erklären läßt. Mitten auf dem Meere hört man öfter ein Echo, wenn der Himmel bewölkt ist.

§ 72. Feste Körper werden durch den Schall in Schwingungen versetzt.

§ 72. Da man einen Schall auch durch feste Körper hindurch, d. i. auch dann hört, wenn die den schallenden Körper umgebende Luftmasse von der des Beobachtungsortes durch feste Scheidewände getrennt ist, so läßt sich vermuthen, daß die festen Körper die Schallwellen der Luft nicht blos zurückwerfen, sondern daß sie durch dieselben selbst in ähnliche Schwingungen versetzt werden, und diese der auf der andern Seite befindlichen Luft mittheilen.

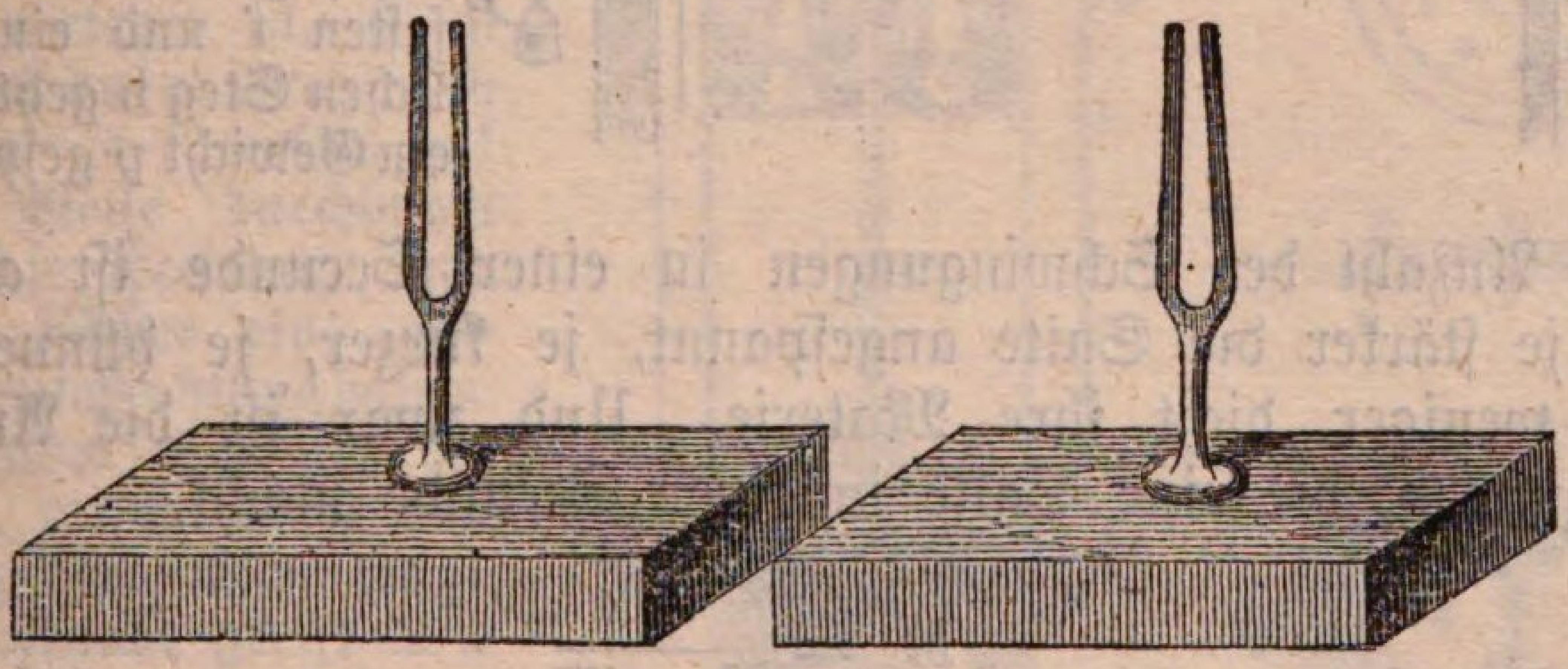
Flügelspiel, Gesang, Gespräche u. dgl. hört man durch Wände, durch Decken der Zimmer hindurch. Ein Uhrwerk unter dem Recipienten der Luftpumpe hört man, so lange die Luft noch nicht verdünnt ist, schlagen.

Diese Vermuthung wird bestätigt:

1) Dadurch, daß diese trennenden Körper den Schall desto stärker fortpflanzen, je dünner und elastischer sie sind.

2) Dadurch, daß viele Körper, namentlich sehr dünne, leichte und dabei elastische, z. B. Fensterscheiben, die Saiten eines Instrumentes, dessen Resonanzboden u. dergl., durch starke Schälle in fühlbare und selbst hörbare Vibration versetzt werden.

Fig. 96.



Am auffallendsten zeigt sich die Erscheinung an dem sogenannten Diapason von Marloye. Dieses besteht aus zwei starken Stimmgabeln, welche auf hohle, von dünnem Holz gefertigte und auf einer Seite offene Kästen geschraubt sind (Fig. 96). Wird die eine angeschlagen, so klingt die andere mit, selbst wenn sie in einer Entfernung von 3 bis 4 Meter oder noch weiter von der ersteren steht.

Dabei macht man die Erfahrung, daß solche Körper, besonders wenn sie in unmittelbarer Berührung mit dem schallenden Körper stehen, den Ton desselben verstärken.

Der Ton der Stimmgabel wird auffallend stärker, wenn man sie auf irgend einen festen Körper, z. B. auf eine Tischplatte aufsetzt. Dieselbe Wirkung bringt der Resonanzboden der Saiten-Instrumente auf die Töne der Saiten hervor; ja derselbe ist sogar der eigentlich tönende Körper; denn ohne einen solchen hört man den Ton der Saiten kaum.

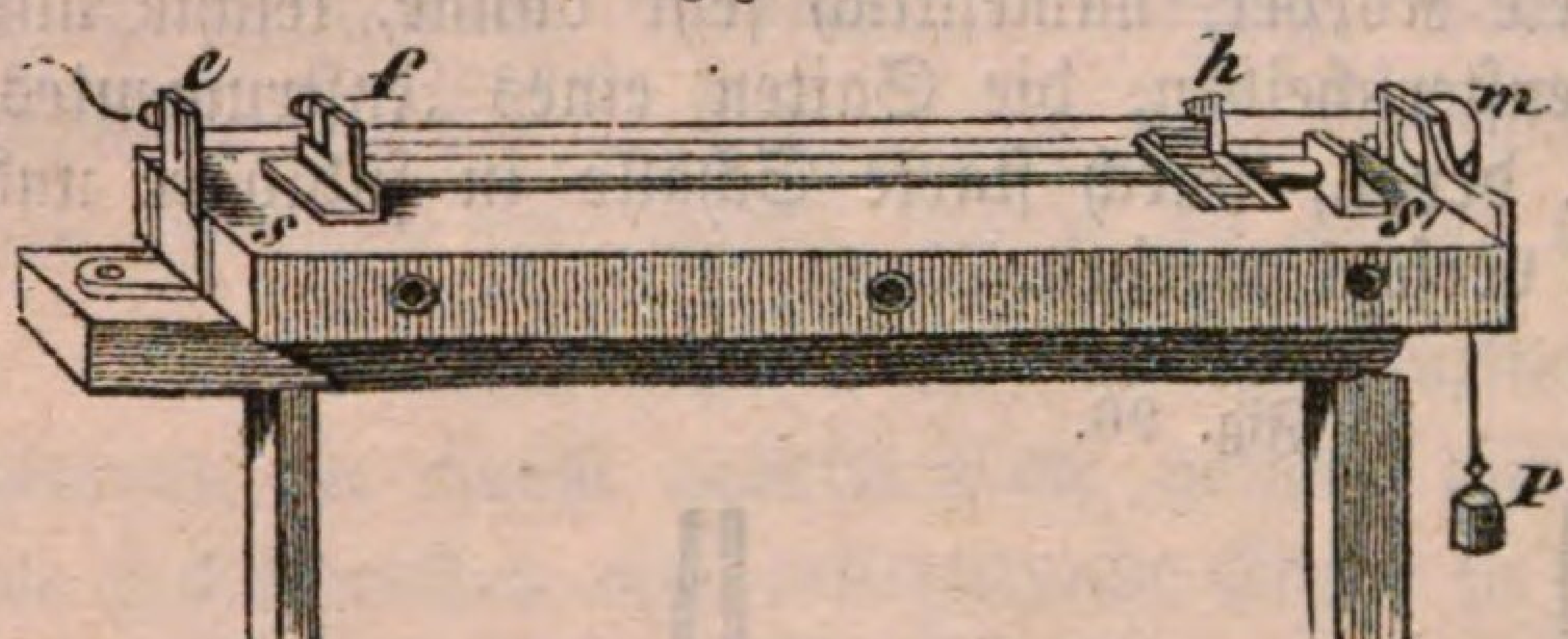
Daraus läßt sich schließen, daß solche mittönende Körper durch die Vibrationen, in welche sie durch den schallenden Körper versetzt werden, denselben Ton erzeugen, als der ist, durch welchen sie zum Vibriren veranlaßt werden. Und da nun verschiedene Töne durch ein und denselben Körper (z. B. den Resonanzboden) verstärkt werden, so muß ein und derselbe Körper verschiedene Töne hervorzubringen im Stande sein.

B. Die musikalischen Töne und die Schwingungen der sie erzeugenden Körper.

§ 73. Bestimmung der Schwingungsmengen für Töne, welche durch Saiten hervorgebracht werden,

§ 73. Der Erfahrung gemäß erzeugt eine schwingende Saite nur dann einen Ton, wenn sie in einer gegebenen Zeit, etwa in einer Secunde, eine gewisse Anzahl von Schwingungen macht, und dann ist der Ton desto höher, je größer diese Zahl der Schwingungen ist.

Fig. 97.



Die hierher gehörigen Versuche lassen sich am besten mittelst des von Savart angegebenen Monochord's (Fig. 97) anstellen. Es besteht aus einem hohlen Kasten ss, auf welchem eine Saite befestigt ist, die über einen festen f und einen beweglichen Steg h geht und durch ein Gewicht p gespannt wird.

Die Anzahl der Schwingungen in einer Secunde ist aber desto größer, je stärker die Saite angespannt, je kürzer, je dünner sie ist, und je weniger dicht ihre Materie. Und zwar ist die Anzahl der Schwingungen, die eine Saite in einer Secunde macht,

$$M = \frac{\sqrt{k}}{l\, r\sqrt{d}}$$

wo k die spannende Kraft, l die Länge der Saite, r den Radius des Querschnittes und d die Dichtigkeit ihrer Materie bezeichnet. D. h. eine Saite A macht in 1 Secunde $\frac{\sqrt{k}}{l.r.\sqrt{d}}$ mal so viel Schwingungen als eine andere Saite B, wenn bei A die genannten Größen k, l, r und d mal so groß sind, als die entsprechenden Größen bei B.

Dies Gesetz ist von Lagrange im Jahre 1759 gefunden.

Da man nun für gewisse Werthe von k, l, d und r die Schwingungsmengen geradezu zählen kann, z. B. wenn man einen sehr langen Draht schwingen läßt, so läßt sich vermittelst jener Formel auch für alle anderen Werthe dieser Größen die Menge der Schwingungen berechnen und also auch finden, wie viele Schwingungen, oder, was dasselbe ist, wie viele Schallwellen in 1 Secunde jeder Ton erfordert.

Gesetzt, ein langer gespannter Draht mache in 1 Secunde 3 Schwingungen und die Seite des Monochords gebe den Ton, welchen man in der Musik mit klein c bezeichnet, und man habe durch Messung gefunden, daß für die Saite die spannende Kraft $^1/_4$mal, die Länge $^1/_{11}$mal, der Radius $^1/_2$mal und das specifische Gewicht $^1/_{16}$mal so groß ist, als die entsprechenden Größen bei dem Drahte sind, so macht die Saite in einer Secunde $\frac{\sqrt{^1/_4} \cdot 3}{^1/_{11} \cdot {^1/_2} \sqrt{^1/_{16}}}$ d. i. 132 Schwingungen. Verkürzt man dann die Saite um $^1/_9$ ihrer Länge, so erhält man den Ton d und die Saite macht dabei $\frac{\sqrt{1}}{^8/_9\, 1 \cdot \sqrt{1}} \cdot 132$ d. i. $\frac{9 \cdot 132}{8}$ d. i. 148 Schwingungen.

Auch für Töne, welche dadurch hervorgebracht werden, daß ein Luftstrom die Luft in Schwingungen versetzt, läßt sich die Menge der Schallwellen einer Secunde finden, und zwar vermittelst der sogenannten Syrene, eines von Cagniard de la Tour erfundenen Instrumentes. (Fig. 98.) für Töne, welche durch einen Luftstrom hervorgebracht werden.

Fig. 98.

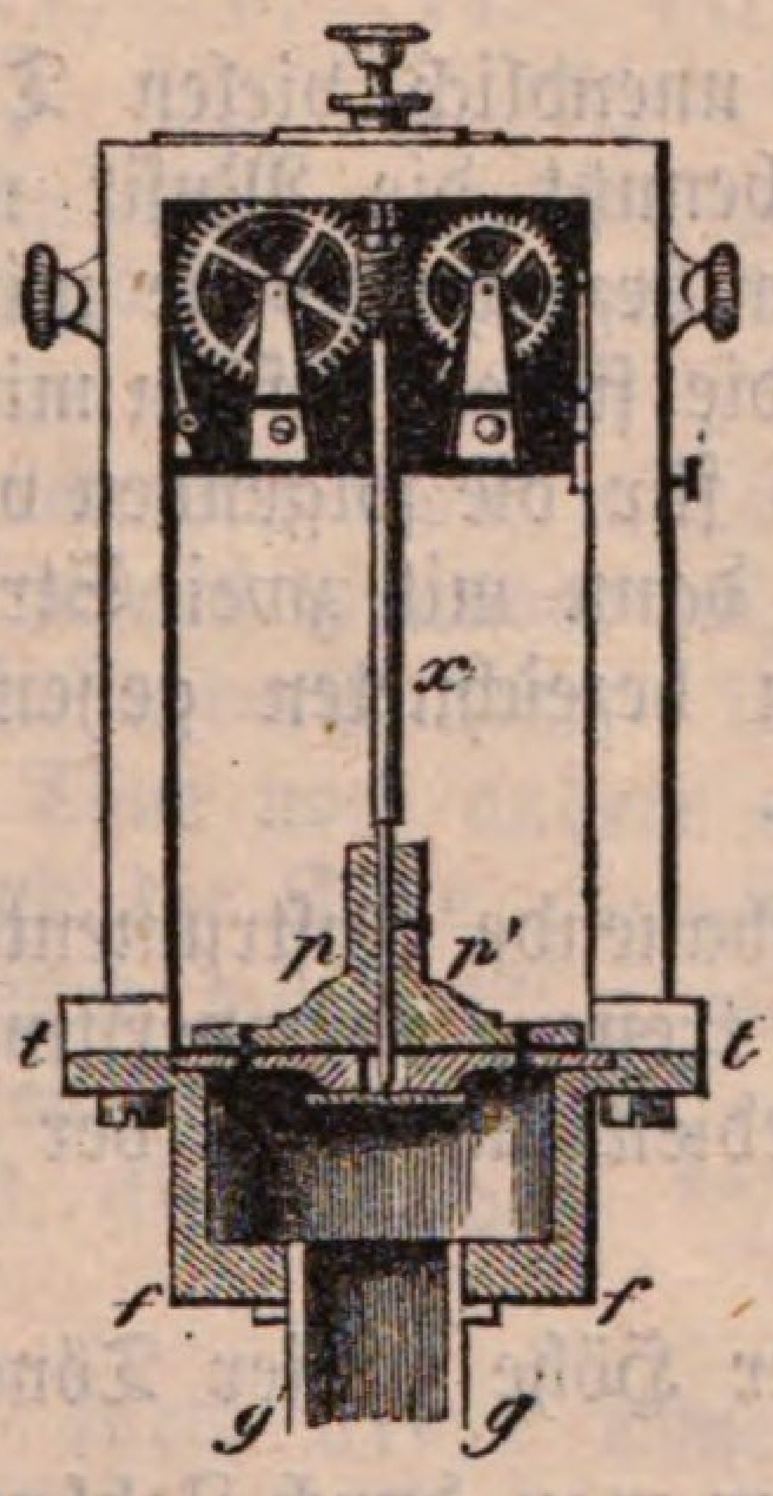


Fig. 99a.

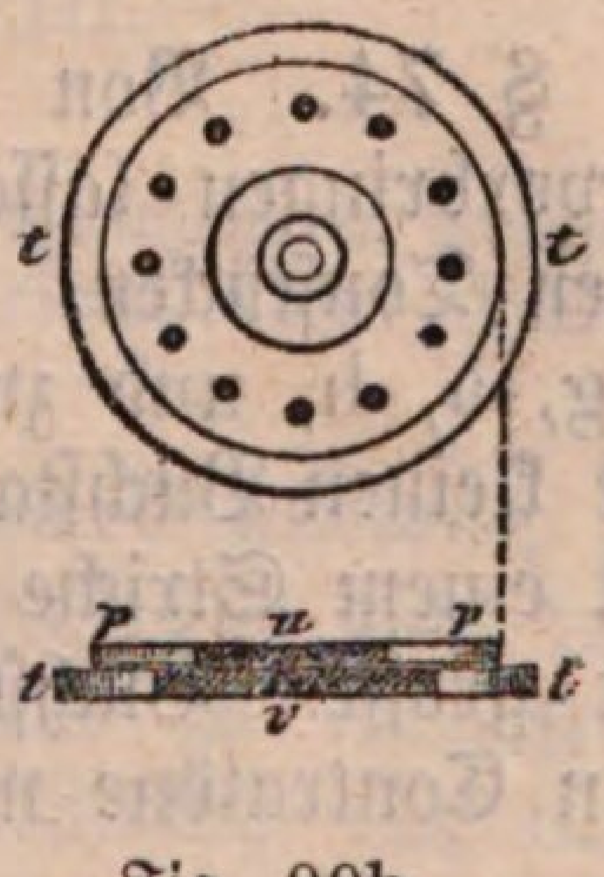
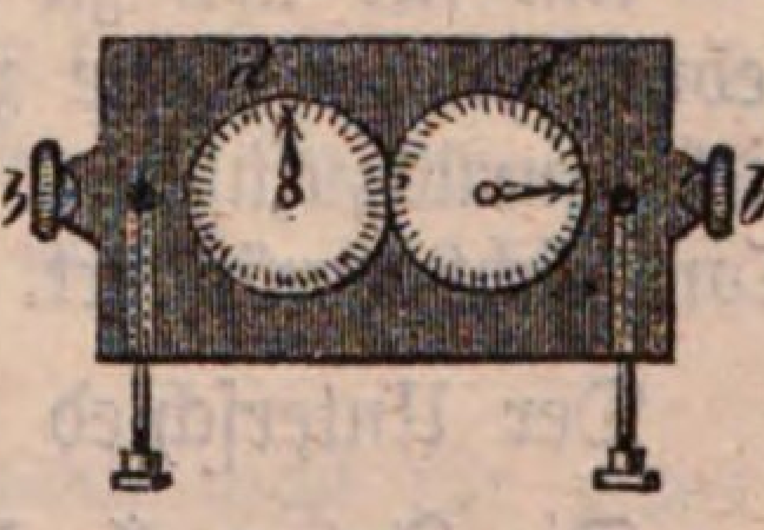


Fig. 99b.



tt'ff' ist ein hohler Cylinder, dessen obere Deckplatte mit einer gewissen Anzahl von schräg gebohrten kreisförmig gestellten Löchern versehen ist. (Fig. 99a.) Auf dieser dreht sich die Platte pp', welche auf dieselbe Weise durchbohrt ist, wie die Deckplatte, nur daß die Löcher eine entgegengesetzte Richtung haben. pp' befindet sich an der Achse x, welche oben eine Schraube ohne Ende trägt. Diese Schraube greift in 2 gezähnte Räder, von denen jedes einen Zeiger trägt dd' (Fig. 99b), der die Menge der Umläufe der Welle angiebt. Die Platte pp' wird in Bewegung gesetzt, indem man vermittelst eines Rohres durch die Oeffnung gg' in den hohlen Cylinder bläst.

Außerdem hat man die Menge der Schwingungen für diejenigen Töne bestimmt, welche entstehen, wenn die Zähne eines Zahnrades oder ein um eine verticale Achse horizontal sich drehender Stab an ein dünnes Metallblättchen schlägt.

Aus allen diesen Versuchen und Berechnungen hat sich nun das Gesetz ergeben:

Die Höhe der Töne hängt nur von der Anzahl der in einer Secunde erzeugten Schallwellen ab: zu gleichen Tönen gehören gleich viel Schallwellen, mag die Schallquelle sein, welche sie wolle.

Da alle Töne, hohe und niedere, sich mit gleicher Geschwindigkeit, nämlich mit einer Geschwindigkeit von 340 Meter verbreiten, so läßt sich aus der Menge der Schallwellen in einer Secunde auch deren Länge berechnen.

Die Höhe der Töne hängt von der Schallwellenlänge ab.

Die Schallwellenlänge eines Tones nämlich, der durch m Schwingungen in 1 Secunde erzeugt wird, ist $= \frac{340}{m}$ Meter.

Ist z. B. für einen gewissen Ton die Anzahl der Schwingungen in einer Secunde = 170, so erhält ein Beobachter, welcher sich 340 Meter vom Entstehungsorte des Tones befindet, die erste Schallwelle nach einer Secunde; folglich befinden sich zwischen ihm und dem den Ton erzeugenden Instrumente 170 Schallwellen; folglich beträgt die Länge einer jeden $\frac{340}{170}$, d. i. 2 Meter.

Hiernach kann man das vorhin genannte Gesetz auch so aussprechen:
Gleiche Töne haben gleiche Schallwellenlänge, oder
Die Höhe des Tones hängt von der Länge der Schallwellen ab.

§ 74. Die Tonleiter. Intervall.

§ 74. Von den unendlich vielen Tönen, welche sich überhaupt hervorbringen lassen, benutzt die Musik nur eine gewisse Anzahl zu ihren Tonstücken. Man bezeichnet diese mit den 7 Buchstaben c, d, e, f, g, a, h, und zwar die sieben tiefsten mit großen, die nächsten sieben mit kleinen Buchstaben; für die folgenden versieht man diese Buchstaben mit einem Striche ($\bar{c}$) dann mit zwei Strichen ($\bar{\bar{c}}$) und so fort. Den mit großen Buchstaben bezeichneten gehen noch einige voran, welche man Contratöne nennt.

Um für neu zu erbauende Instrumente immer wieder die einmal gebräuchlichen Töne zu treffen, oder verstimmte Instrumente wieder auf diese zurückzuführen, bedient man sich der Stimmgabel, da diese ihren Ton nicht verändert.

Der Unterschied der Höhe zweier Töne heißt **Intervall**.

Intervalle zwischen dem Grundtone und den übrigen Tönen der Tonleiter.

Die Intervalle kann man durch Zahlen ausdrücken, indem man angiebt, wie vielmal mehr Schallwellen in gleicher Zeit zu dem höheren Tone gehören, als zu dem tieferen. Diese Zahlen sind für jede Gruppe der sieben Töne von c bis zum nächsten c immer dieselben, nämlich folgende:

c	d	e	f	g	a	h	c
1	$^9/_8$	$^5/_4$	$^4/_3$	$^3/_2$	$^5/_3$	$^{15}/_8$	2

D. h.: In derselben Zeit, in welcher ein den Ton c erzeugender Körper eine Schwingung macht, macht ein anderer, welcher den Ton d giebt, $^9/_8$, e $^5/_4$ Schwingungen u. s. w.

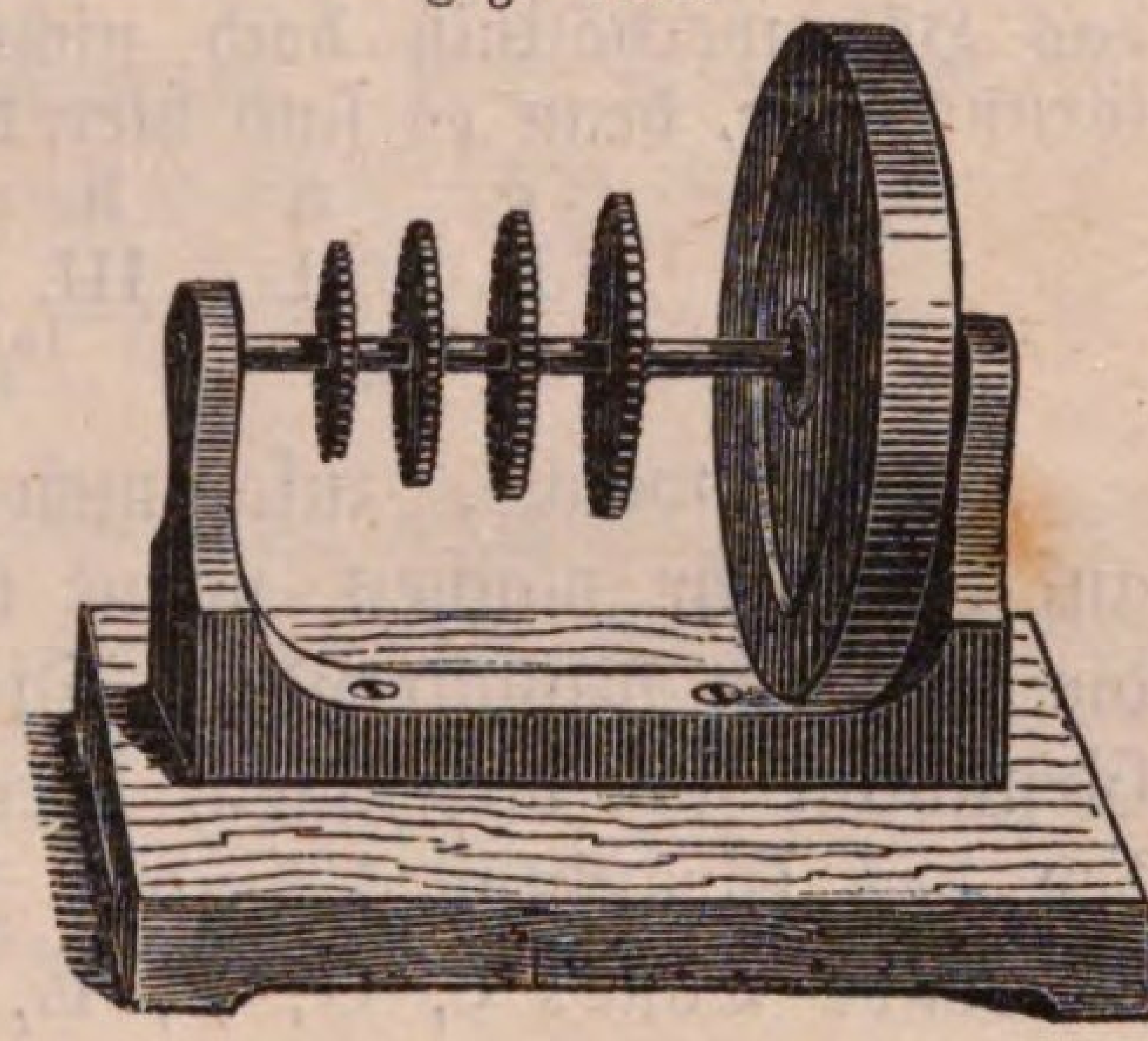
Wenn daher eine Saite in ihrer ganzen Länge den Ton c angiebt, so erhält man die folgenden sieben Töne, wenn man

$^8/_9$ $^4/_5$ $^3/_4$ $^2/_3$ $^3/_5$ $^8/_{15}$ $^1/_2$

ihrer Länge schwingen läßt.

Jede Gruppe von 8 Tönen, welche die oben angegebenen Intervalle haben, nennt man Tonleiter, den ersten davon, den Grundton oder die Prime, den zweiten die Secunde, den dritten die Terz u. s. w. bis zur Octave.

Fig. 100.



Wird eine eiserne Scheibe (Fig. 100) von etwa 12 Centimeter Durchmesser und 2 Centimeter Dicke und mit ihr vier auf derselben Achse befestigte Zahnräder von 40, 50, 60 und 80 Zähnen durch Abziehung eines um die Achse gewickelten Fadens in schnelle Rotation versetzt, so geben die vier Räder, wenn man ihre Zähne an die Kante eines Kartenblattes schlagen läßt, die Prime, die Terz, die Quinte und die Octave.

Die Intervalle je zwei auf einander folgender Töne der Tonleiter sind, wie man aus ihren Zahlen ersieht, nicht gleich; sie sind nämlich folgende: Intervalle zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Tönen der Tonleiter.

I. II. III. IV. V. VI. VII. VIII.

$^9/_8$ $^{10}/_9$ $^{16}/_{15}$ $^9/_8$ $^{10}/_9$ $^9/_8$ $^{16}/_{15}$

Z. B. zur Quarte gehören in derselben Zeit $^4/_3$ Schwingungen, in welcher zur Terz $^5/_4$ gehören. Die Zahl für das Intervall der beiden Töne ist also $^4/_3 : {}^5/_4 = {}^{16}/_{15}$.

Nimmt man daher einen andern Ton, als c, zum Grundtone, so haben die in der obigen Reihe auf einander folgenden Töne nicht das zur Tonleiter erforderliche Höhenverhältniß. Um dies zu erreichen, schaltet man zwischen jene 7 Töne noch andere ein, nämlich cis, dis, eis, fis, gis, ais und his, und die Töne ces, des, es, fes, ges, as und b. Jeder der ersteren wird durch $^{25}/_{24}$, jeder der letzteren durch $^{24}/_{25}$ mal so viel Schwingungen hervorgebracht, als der entsprechende Ton c, d, e u. s. w. Z. B. dis erfordert $^{25}/_{24}$ mal so viel als d, des $^{24}/_{25}$ mal so viel als d.

Zwar erreicht man auch durch diese Töne noch nicht für jeden Grundton dieselbe Tonleiter, die man für c hat, zumal da man gewöhnlich für cis und des, für dis und es u. s. w. nur einen Ton gebraucht; aber die Abweichung ist so gering, daß sie keinen unangenehmen Eindruck macht und auch nur von einem sehr geübten Ohre wahrgenommen wird.

Auf der Violine ist man im Stande, für jeden Grundton die Tonleiter genau richtig zu spielen, auf dem Flügel nicht.

Das Wort Ton wird auch als Maß für die Intervalle gebraucht; man nennt nämlich das Intervall $^9/_8$ einen großen ganzen Ton, $^{10}/_9$ einen kleinen ganzen, $^{16}/_{15}$ einen großen halben und $^{25}/_{24}$ einen kleinen halben Ton.

Erläuterung. Die Intervalle der Tonleiter, welche c zum Grundton hat, sind, wie wir gesehen haben:

c	d	e	f	g	a	h	c
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^{16}/_{15}$	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^9/_8$	$^{16}/_{15}$	

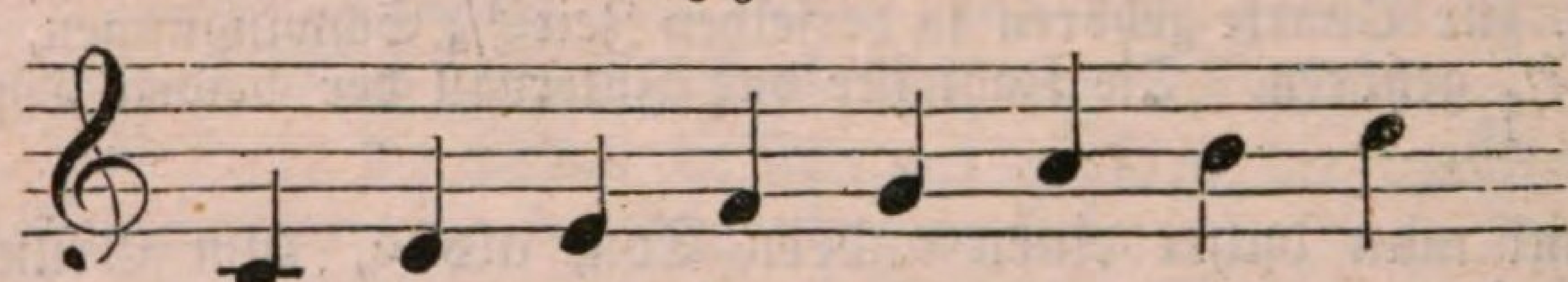
Nimmt man g als Grundton an und wollte die Tonleiter in folgender Weise bilden: g, a, h, c, d, e, f, g, so würde die VII. von der VI. nur um einen großen halben Ton und die VIII. von der VII. um einen ganzen Ton verschieden sein, während es doch umgekehrt sein muß. Um nun ungefähr dasselbe Höhenverhältniß zu erhalten, nimmt man anstatt f fis, aber dann ist das Höhenverhältniß doch nicht genau so, wie in der Tonleiter für den Grundton c, denn es sind hier die Intervalle:

g	a	h	c	d	e	fis	g
I.	II.	III.	IV.	V.	VI.	VII.	VIII.
$^{10}/_9$	$^9/_8$	$^{16}/_{15}$	$^9/_8$	$^{10}/_9$	$^{10}/_9$	$^{27}/_{25}$	

Töne, welche, zusammen angegeben, einen angenehmen Eindruck auf das Ohr machen, nennt man harmonische oder consonirende Töne, die anderen dissonirende. Die harmonischen Töne zu einem gegebenen Grundton sind diejenigen, deren Wellenlänge $^1/_2$, $^2/_3$, $^3/_4$, $^4/_5$, $^5/_6$ von der des Grundtones sind. Z. B. für den Grundton C sind consonirende Töne: c, G, F, E, Es.

Die Schwingungszahlen (für eine Secunde) für die Tonleiter von $\bar{c}$ bis $\bar{\bar{c}}$ sind:

Fig. 101.



$\bar{c}$	$\bar{d}$	$\bar{e}$	$\bar{f}$	$\bar{g}$	$\bar{a}$	$\bar{h}$	$\bar{\bar{c}}$
264.	297.	330.	352.	396.	440.	495.	528.

Die gebräuchlichen Stimmgabeln geben den Ton a'. Der tiefste hörbare Ton wird durch 16, der höchste durch 36,000 Schwingungen hervorgebracht. Die Schallwellenlänge dieser Grenztöne ist 21 Meter und 0,009 Meter.

§ 75. Beschaffenheit der Schwingungen tönender Saiten.

§ 75. Schwingungen der Saiten. Wird eine Saite am Ende ihres ersten Drittheils oder Viertheils oder Fünftheils u. s. w. unterstützt, und der so getrennte aliquote Theil mit dem Violinbogen in Schwingungen versetzt, so geräth das andere Stück der Saite ebenfalls in Schwingungen, und zwar so, daß zwischen je zwei entsprechenden aliquoten Theilen ein Ruhepunkt (Schwingungsknoten) bleibt.

Denn setzt man an verschiedenen Punkten gebogene Papierstreifen auf die Saite und streicht den getrennten aliquoten Theil mit dem Violinbogen, so

fallen alle Papierstreifen herunter, außer denjenigen, welche auf den Schwingungsknoten sitzen.

Man kann aber auch dadurch eine Saite in aliquoten Theilen schwingen machen, daß man sie am Ende des ersten Drittheils oder Viertheils u. dergl. ganz leise mit dem Finger berührt und das übrige Stück der Saite streicht; nur darf man den Bogen nicht da ansetzen, wo die Schwingungsknoten entstehen, sonst erhält man gar keinen Ton. Der entstehende Ton ist derjenige, welchen ein solcher aliquoter Theil giebt, wenn er allein schwingt. (Flageolet-Töne.)

Legt man z. B. den Finger ganz leise an das Ende des ersten Viertheils, so erhält man den Ton, welcher durch ein Viertheil der ganzen Saite hervorgebracht wird, d. i. die zweite Octave von dem Tone der ganzen Saite.

§ 76. tönender Scheiben.

§ 76. Schwingungen elastischer Scheiben. Auch elastische Scheiben lassen sich durch Streichen mit dem Violinbogen in schallende Schwingungen versetzen und verhalten sich dabei ganz ähnlich wie schwingende Saiten, nämlich:

1) Durch ein und dieselbe Scheibe kann man sehr viele Töne hervorbringen, indem man sie an verschiedenen Stellen langsamer oder schneller streicht, oder sie an verschiedenen Stellen festhält u. dergl.

2) Es bilden sich auch hier ruhende Punkte oder vielmehr Linien, die man durch aufgestreuten Sand sichtbar machen kann. (Chladni'sche Figuren.)

Fig. 102.

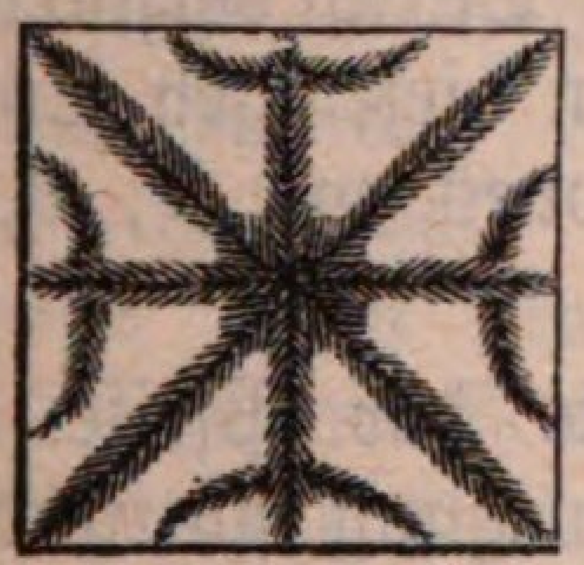


Fig. 103.

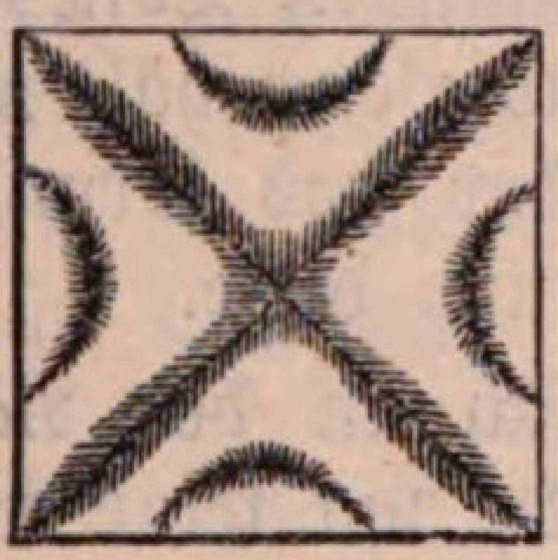


Fig. 104.



Fig. 105.

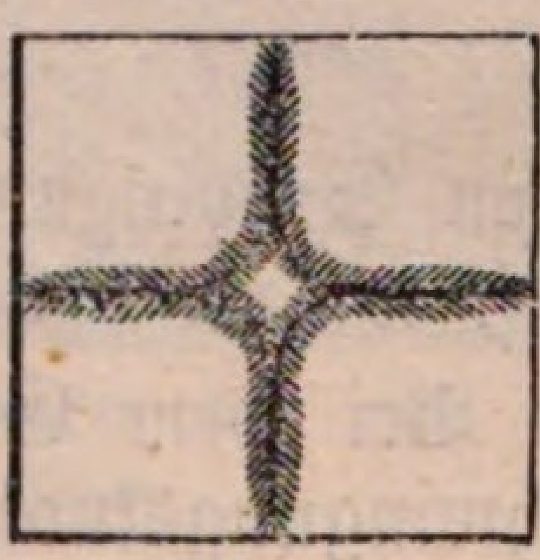


Fig. 102 bis 105 stellen einige dieser Chladni'schen Figuren dar.

3) Der Ton ist desto höher, in je kleineren Theilen die Scheibe schwingt.

Man bedient sich zu diesen Versuchen am besten einer starken Messingscheibe, welche in der Mitte auf einen Fuß aufgeschraubt ist, und streicht sie mit einem Baßbogen.

§ 77. tönender Luftsäulen

§ 77. Schwingungen von Luftsäulen, welche in Röhren eingeschlossen sind. Vermittelst der Blasinstrumente werden die Töne erzeugt, indem man die in einer Röhre befindliche Luftsäule entweder durch Anblasen vermittelst eines sogenannten Mundstückes oder dadurch, daß man eine solche Luftschicht über die Luftsäule hinwegbläst, in Schwingungen versetzt.

Daß nicht die feste Materie, aus welcher die Blasinstrumente bestehen, durch ihre Schwingungen den Ton hervorbringt, geht daraus hervor, daß

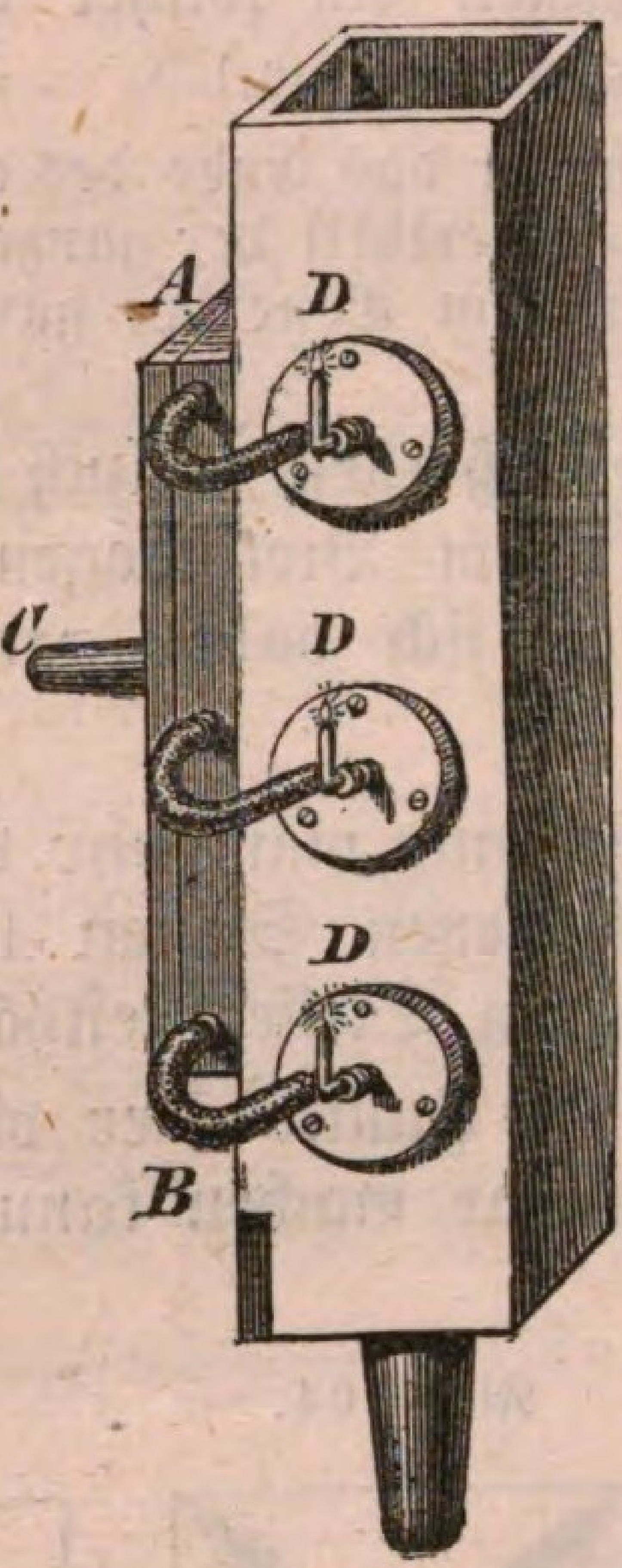
manche solcher Instrumente aus ziemlich unelastischer Materie verfertigt werden (Holz, Zinn), und doch einen sehr guten Ton geben, und daß der Ton unverändert bleibt, wenn man das Instrument mit der Hand festhält und dadurch seine Schwingungen stört.

Das einfachste Blasinstrument ist die Orgelpfeife und daher zu physikalischen Versuchen am meisten geeignet (Fig. 106). Man unterscheidet an ihr den Fuß (Fig. 107) p, den Mund bb, und die Röhre, welche die schwingende Luftsäule enthält.

Fig. 106. Fig. 107. Fig. 108.







Der Ton der Orgelpfeife ist im Allgemeinen von ihrer Länge, weniger von der Weite abhängig, so daß Pfeifen von gleicher Länge gleiche Töne geben, wenn ihre Weite auch etwas verschieden ist. Dabei unterscheiden sich die oben offenen Pfeifen von den geschlossenen.

in offenen Orgelpfeifen.

Eine oben offene Pfeife giebt als Grundton denjenigen, dessen Wellenlänge gleich der doppelten Länge der Röhre ist, vorausgesetzt, daß ihre Länge wenigstens 10- bis 12mal so groß ist, als ihr Durchmesser und ihre Wände fest genug sind. Sind die Wände zu dünn, so erhält man die Octave des genannten Tones. Durch verstärktes Anblasen erhält man diejenigen Töne, deren Schwingungs-Zahlen sich zu der des Grundtones wie 2, 3, 4 u. s. w. zu 1 verhalten, aber auch nur diese.

Bei dem Grundtone befindet sich in der Mitte der Pfeife ein Schwingungsknoten, d. h. ein Punkt, wo keine Bewegung stattfindet, wo aber die Luft abwechselnd verdichtet und verdünnt wird und am Ende des 1sten oder 3ten Viertels der Länge der Pfeife ein Bauch, d. i. eine Luftschicht, die sich auf- und abbewegt, aber weder verdichtet noch verdünnt ist. Beim Ton 2 ist es umgekehrt.

Die Schwingungsknoten und Bäuche lassen sich durch folgende Vorrichtung nachweisen: An eine offene Orgelpfeife (Fig. 108) ist ein Kästchen AB angeschraubt, welches aus einer Gasleitung durch einen bei C angesetzten Gummischlauch mit Gas gefüllt wird. Von hier führen 3 Röhrchen das Gas in 3 runde Kästchen D, an deren jedem sich ein kleiner Gasbrenner befindet. Von jedem Kästchen D führt in das Innere der Orgelpfeife eine kleine Oeffnung, die aber durch ein dünnes Gummiblättchen geschlossen ist. Beim Grundtone erzittern alle 3 Flämmchen, das mittelste aber am meisten; beim Tone 2 aber zittern die beiden andern am meisten, während das mittelste ruhig steht.

in geschlossenen Orgelpfeifen.

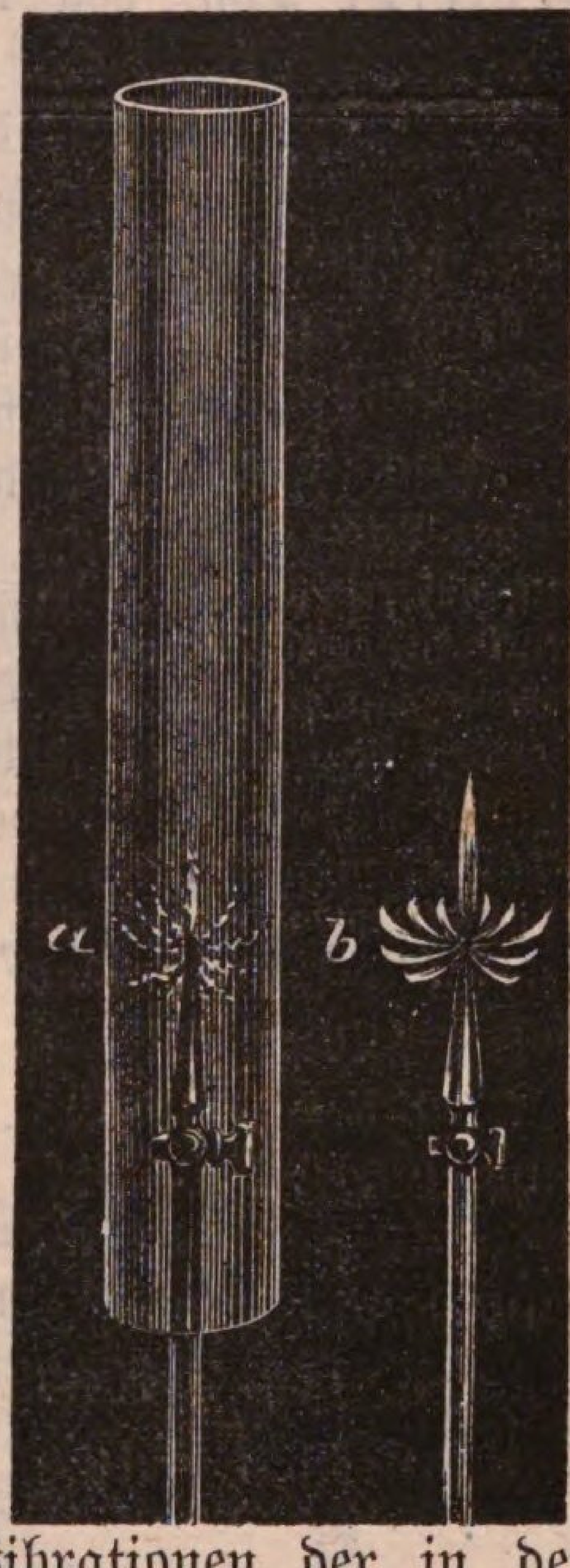
Eine geschlossene Röhre giebt als Grundton einen doppelt so tiefen, als eine gleich lange offene; die Wellenlänge desselben ist also viermal so groß, als die Länge der Röhre. Man schreibt diese Erscheinung einer Reflexion am Deckel zu.

Durch verstärktes Anblasen erhält man die Töne, deren Schwingungsmengen sich zu der des Grundtons verhalten wie 3, 5, 7 ꝛc. zu 1.

Zungenpfeifen und andere Blas-Instrumente.

In Zungenpfeifen wird durch einen Luftstrom ein Metallplättchen zum Vibriren gebracht und dieses setzt wieder die in der Röhre enthaltene Luftsäule in Schwingungen. Bei diesen Pfeifen hängt die Höhe des Tones nicht von der Länge der Pfeife, sondern von den Schwingungen des Metallblättchens ab.

Fig. 109.



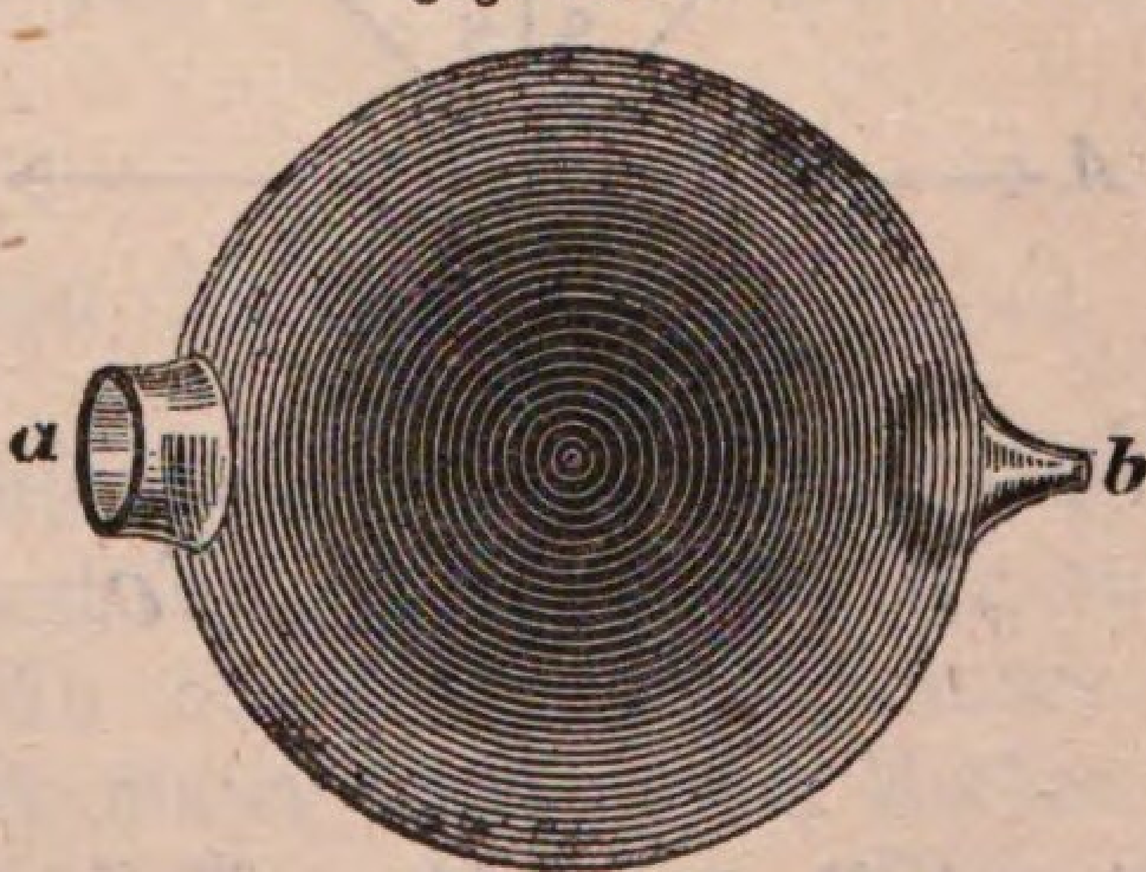
Bei anderen Blasinstrumenten werden die verschiedenen Töne theils durch die verschiedene Art des Anblasens, wie z. B. bei der Trompete, dem Horne, theils durch Verkürzung und Verlängerung der schwingenden Luftsäule mittelst Löcher und Klappen hervorgebracht, z. B. bei der Flöte, der Clarinette u. dgl. Beim Fagott, dem Hautbois und der Clarinette ist das Mundstück ein Zungenwerk.

(Fig. 109.) Hält man über einen Gasbrenner, an dessen Peripherie ein Kranz von Flämmchen ausstrahlt (b), und an der Spitze noch ein solches trägt, eine Papp- oder Glasröhre (a), deren Durchmesser etwa 8 Centimeter und deren Länge 1,2 Meter beträgt, und senkt sie so herab, daß der Brenner mit seiner Flamme immer tiefer in die Röhre tritt, so erhält man an einem bestimmten Punkte einen starken Orgelton. Bei einer Glasröhre werden die den Ton erzeugenden Vibrationen der in der Röhre eingeschlossenen Luftsäule an den Flammen sichtbar.

§ 78. Obertöne.

§ 78. Obertöne. Wird durch ein musikalisches Instrument ein Ton angegeben, so hört ein geübtes Ohr nicht blos diesen Ton, den wir Grundton nennen wollen, sondern zu gleicher Zeit auch die Töne, deren Schwingungszahlen gleich 2, 3, 4, 5, 6 u. s. w. sind, wenn man diejenige des Grundtones mit 1 bezeichnet. Diese Töne nennt man Obertöne. Demnach sind z. B. die Obertöne für den Grundton c:

Fig. 110.



— — = = = = = ≡ ≡

c, g, c, e, g, b, c, d u. s. w.

Diese Töne werden auch dem weniger geübten Ohre durch die sogenannten Resonanzkugeln hörbar. Das sind Glaskugeln von der Form Fig. 110, die bei a und b eine Oeffnung haben. Steckt man

das Ende b in das eine Ohr und hält das andere Ohr zu, so hört man, wenn irgend ein Ton angegeben wird, oder auch schon, wenn bewegte Luft bei der Oeffnung a vorbeiströmt, einen bestimmten Ton, dessen Höhe von den Dimensionen der Glaskugel abhängt und der von den Schwingungen der darin eingeschlossenen Luft herrührt. Wird aber derselbe Ton, den die Kugel giebt, durch ein anderes Instrument angegeben, so tönt die Kugel bedeutend stärker. Dasselbe ist der Fall, wenn auch nur einer der Obertöne mit dem der Kugel übereinstimmt.

Klang-Verschiedenheit der Instrumente.

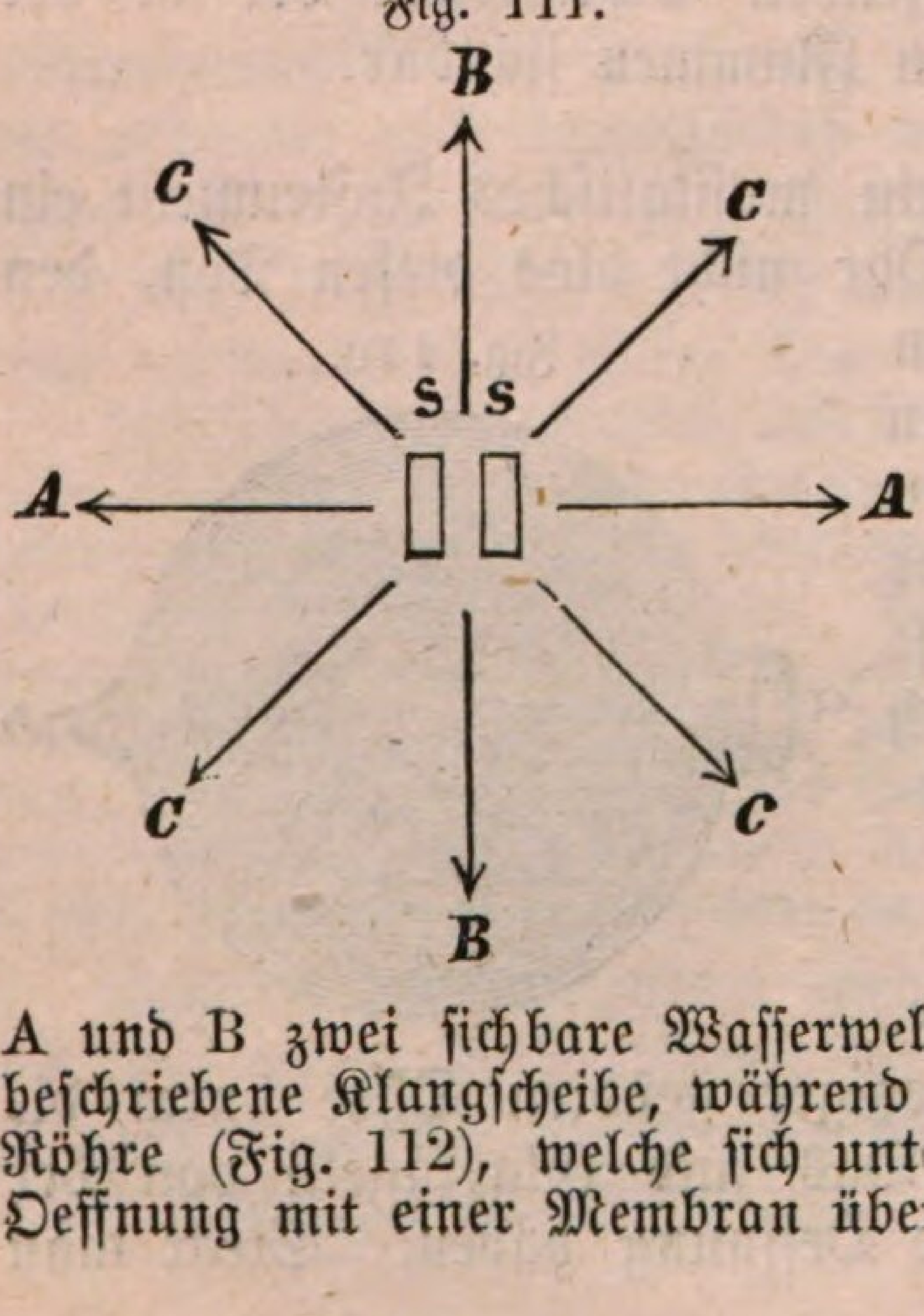
Es läßt sich demnach vermittelst einer Menge solcher Kugeln ermitteln, welche Obertöne den einzelnen Tönen zukommen. Helmholtz, dem wir überhaupt diese Untersuchungen verdanken, hat nun gefunden, daß bei verschiedenen musikalischen Instrumenten verschiedene Obertöne besonders stark hervortreten, und daß darin der Grund zu suchen ist, warum ein und derselbe Ton, von verschiedenen Instrumenten angegeben, einen verschiedenen Klang hat. Z. B. die Streich-Instrumente und die Zungenpfeifen haben deshalb einen so scharfen Klang, weil bei ihnen die obersten (und unter sich dissonirenden) Obertöne besonders stark mitklingen, während bei der Flöte und der einfachen Orgelpfeife nur die tiefsten (unter sich consonirenden) Obertöne hörbar sind, wodurch der weiche Klang dieser Instrumente entsteht.

C. Interferenz des Schalles.

§ 79. Interferenz des Schalles.

§ 79. Treffen Schallwellen, welche von derselben Schallquelle ausgehen, so zusammen, daß je eine Verdichtung mit einer Verdünnung zusammenfällt, so heben sie sich gegenseitig auf, d. h. es wird hier kein Schall gehört. Die so entstehende Aufhebung der Schallwellen heißt Interferenz des Schalles.

Fig. 111.



Hält man eine angeschlagene Stimmgabel vertical vor das Ohr und dreht sie um ihre Achse, so hört man ihren Ton bei einmaliger Umdrehung viermal stärker und viermal schwächer werden, und zwar hört man den Ton stärker, wenn (s. Fig. 111, in welcher SS die Zinken der Stimmgabel, von oben gesehen, bezeichnen) die Pfeile A und B, schwächer wenn die Pfeile C nach dem Ohre gerichtet sind. Die schwingende Stimmgabel erzeugt nämlich in der Richtung A und in der Richtung B je ein Schallwellensystem, deren Schallwellen in den Punkten der Linien CC interferiren. — Taucht man die Spitzen der schwingenden Stimmgabel in Wasser, so erscheinen in der Richtung A und B zwei sichbare Wasserwellensysteme. Stellt man über die in § 76 beschriebene Klangscheibe, während sich die Chladni'schen Figuren bilden, eine Röhre (Fig. 112), welche sich unten in zwei Arme theilt und deren obere Oeffnung mit einer Membran überspannt ist, so auf, daß die beiden unteren

Oeffnungen dicht über zwei schwingenden Theilen der Scheibe stehen, so kommt je nach der Wahl der beiden Theile der auf die Membrane gestreute Sand entweder in Bewegung und bildet eine Klangfigur, oder er bleibt in Ruhe. Schwingen nämlich beide Theile zu gleicher Zeit nach oben, so treffen in dem gemeinschaftlichen oberen Theile der Röhre die verdichteten Theile der Schallwellen aus beiden Armen zusammen und verstärken sich. Schwingt aber der eine Theil der Scheibe nach oben, wenn der andere nach unten schwingt, so trifft immer eine verdichtete Luftschicht aus dem einen Arme mit einer verdünnten aus dem andern zusammen; die Schallwellen heben sich also auf (interferiren). Interferenz des Schalles läßt sich auch durch den in Fig. 113 dargestellten Apparat erzeugen. Verbindet man die beiden Glas- oder Metall-Röhren A und B durch zwei Gummischläuche, von denen der eine C um eine halbe Wellenlänge des von einer Stimmgabel erzeugten Tones länger ist, als der andere, und hält letztere, angeschlagen, an die Oeffnung K, während man die Oeffnung von D ins Ohr steckt, so hört

Fig. 112.

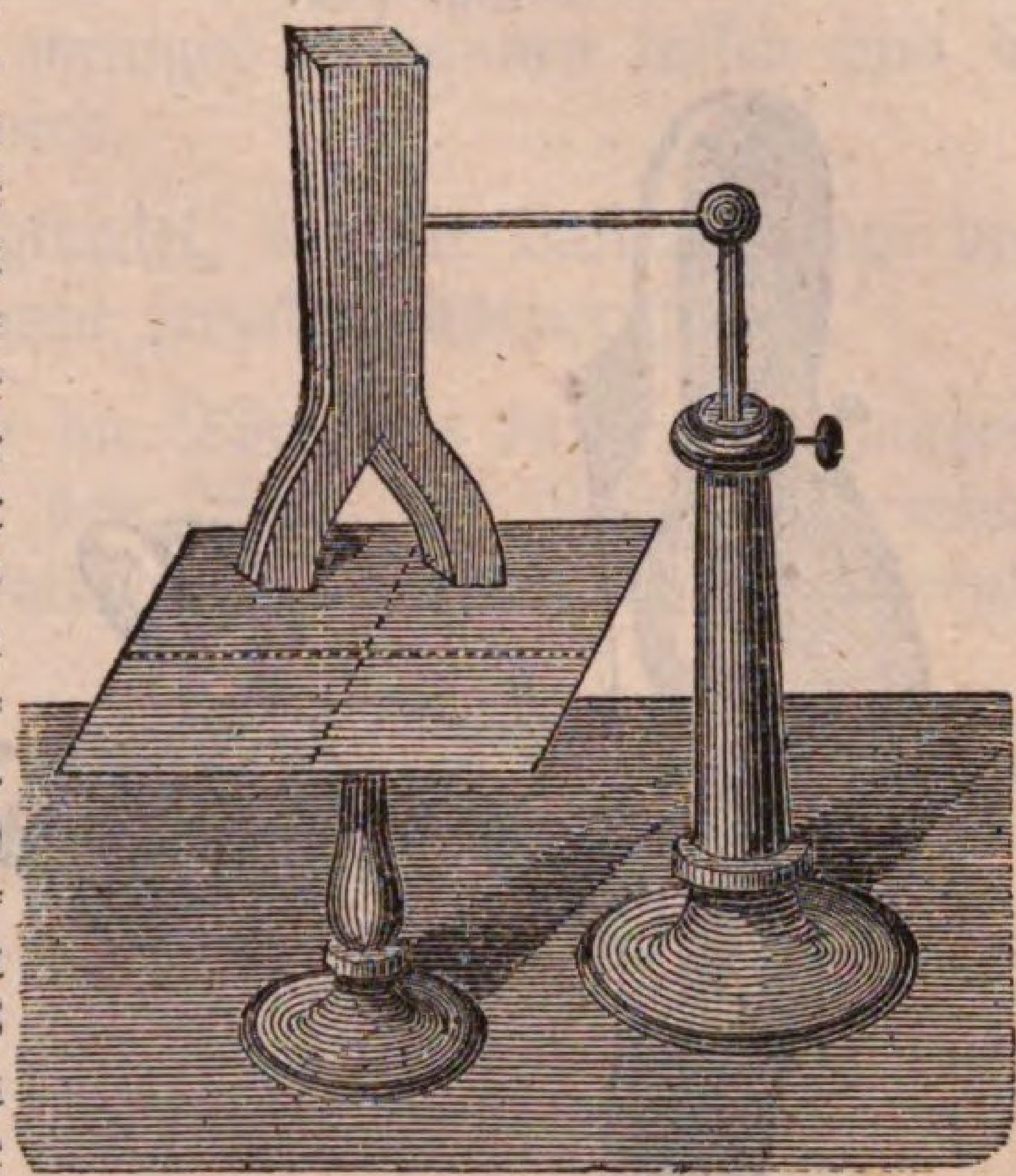
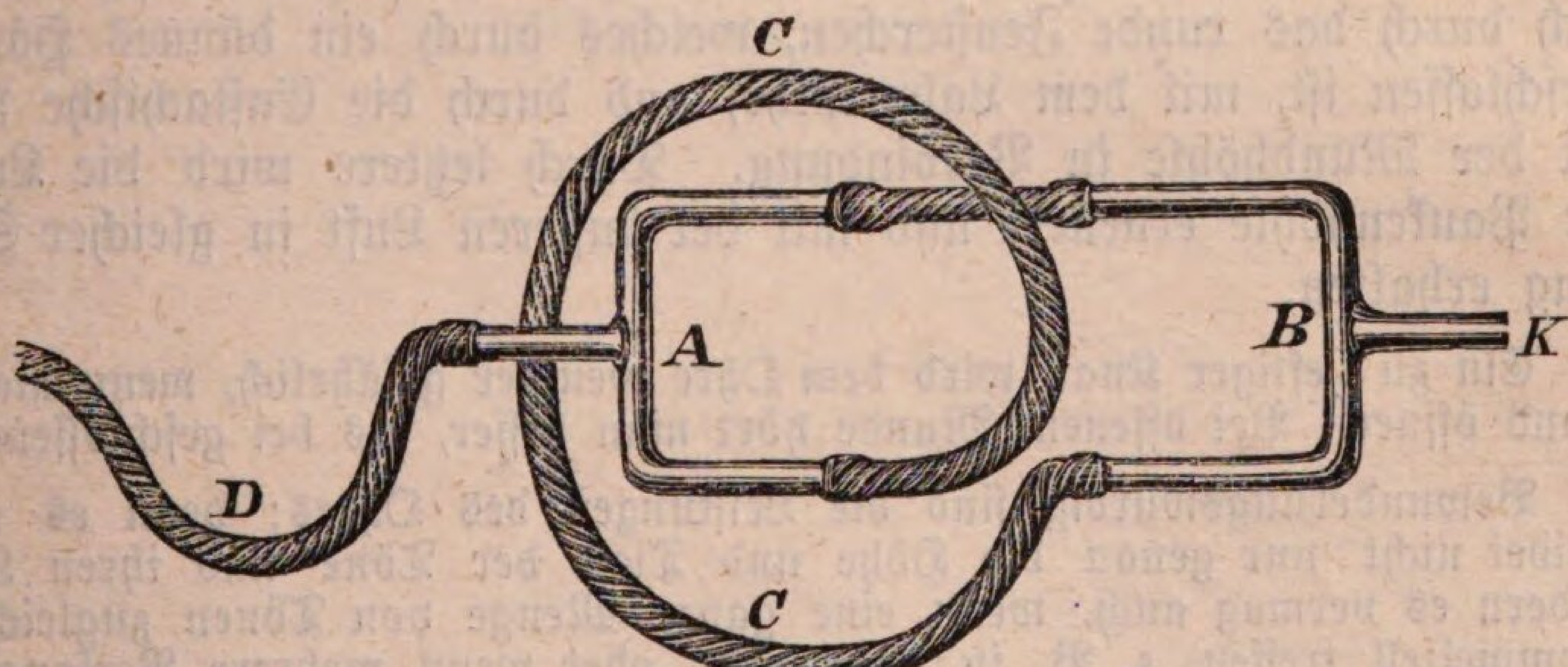


Fig. 113.



man keinen Ton. Man hört ihn aber, sobald man den einen Schlauch zusammendrückt.

D. Das Ohr und das Stimmorgan.

§ 80. Das Ohr. Von dem äußeren Ohre, der Ohrmuschel a (Fig. 114), führt der Gehörgang b nach der Paukenhöhle, die durch das Trommelfell c geschlossen ist. An dieses ist der Hammer m (Fig. 115) angewachsen, an welchen sich hinter einander der Ambos o, das Linsenkörperchen l und der Steigbügel t anschließen. Diese vier Knöchelchen sind beweglich mit einander verbunden. Der Steigbügel verschließt mit seinem unteren Theile das ovale Fensterchen v, welches

§ 80. Beschreibung des Ohres.

nach dem Labyrinthe (Fig. 116) führt. Dieses besteht aus dem Vorhofe mit zwei halbkreisförmigen Kanälen und der Schnecke s. In dem

Fig. 114.

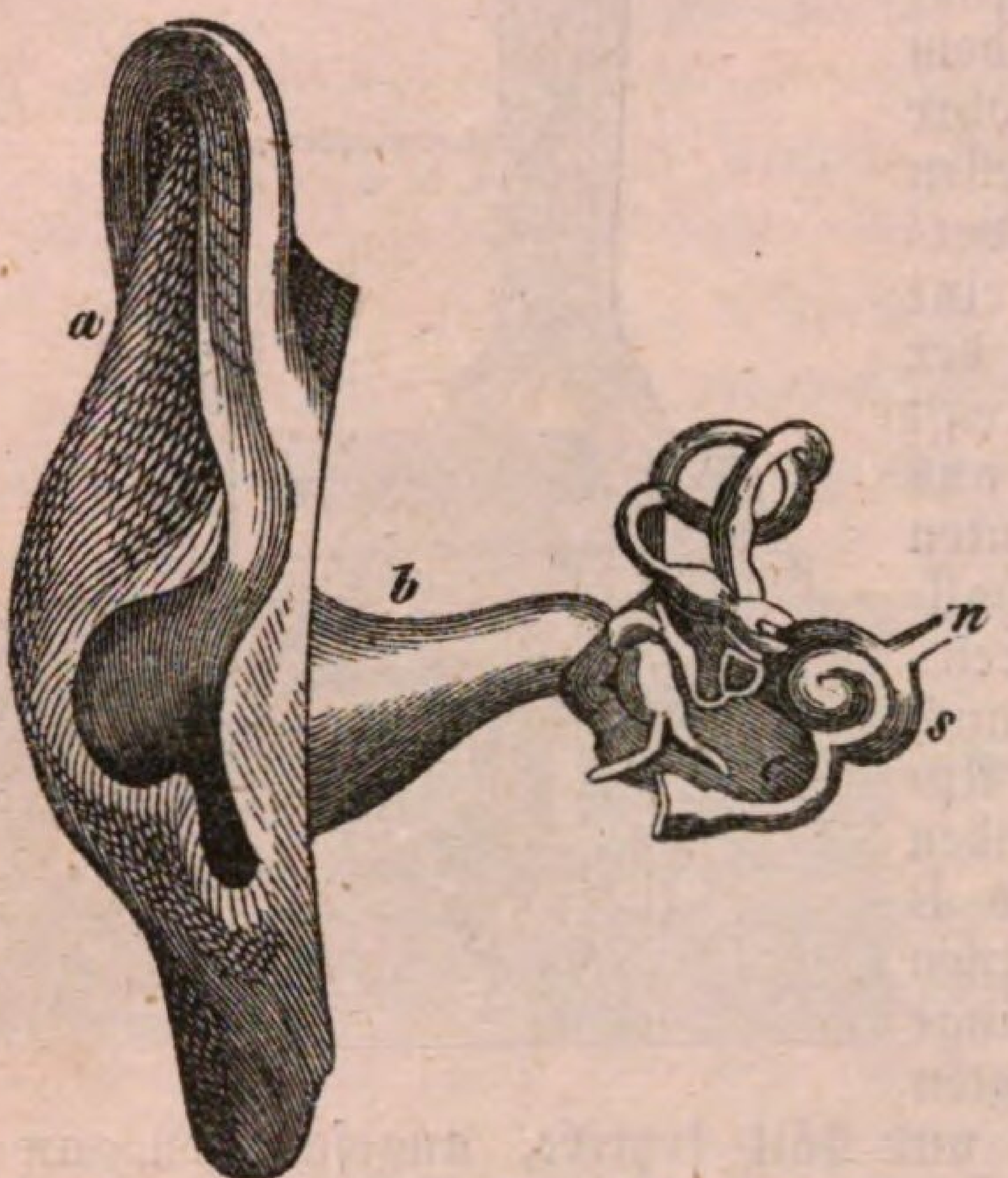


Fig. 115.



Fig. 116.



Labyrinthe befindet sich das Labyrinthwasser, in welchem die Enden des akustischen Nerves schwimmen. Außerdem steht die Paukenhöhle noch durch das runde Fensterchen, welches durch ein dünnes Häutchen verschlossen ist, mit dem Labyrinthe, und durch die Eustachische Röhre mit der Mundhöhle in Verbindung. Durch letztere wird die Luft in der Paukenhöhle erneuert und mit der äußeren Luft in gleicher Spannung erhalten.

Ein zu heftiger Knall wird dem Ohre weniger gefährlich, wenn man den Mund öffnet. Bei offenem Munde hört man besser, als bei geschlossenem.

Bewunderungswürdig sind die Leistungen des Ohres; denn es unterscheidet nicht nur genau die Höhe und Tiefe der Töne und ihren Klang, sondern es vermag auch, wenn eine ganze Menge von Tönen zugleich das Trommelfell treffen, z. B. in Concerten, oder wenn mehrere Personen zugleich sprechen, die einzelnen Töne und Worte von einander zu unterscheiden. Ebenso erkennt man die Richtung, in welcher ein Schall zu uns kommt, so wie die Entfernung der Schallquelle, wiewohl das Ohr hierbei leicht Täuschung ausgesetzt ist.

Das Stimmorgan.

Das Stimmorgan besteht aus der Luftröhre mit dem Kehlkopfe und den beiden Lungenflügeln. Die Luftröhre ist aus nicht vollständig geschlossenen Knorpelringen zusammengesetzt, so daß längs der ganzen Luftröhre ein Spalt bleibt, welcher durch ein Muskelband geschlossen ist. Unten theilt sie sich in zwei Hauptäste, deren Zweige sich wie die Wurzeln eines Baumes verbreiten und nach den Zellen der beiden Lungenflügel führen. Oben endet die Luftröhre in den Kehlkopf, der aus vier Knorpeln zusammengesetzt ist, nämlich dem Ringknorpel, dem Schildknorpel und den beiden Gießkannenknorpeln. Er

verengt sich nach oben in die Stimmritze, deren Ränder durch die beiden Stimmbänder gebildet werden. Diese sind vorn an dem Schildknorpel, hinten an den beiden Gießkannenknorpeln angewachsen, durch deren Bewegung sie sich mehr oder weniger anspannen lassen und die Stimmritze verengt oder erweitert wird.

Auf dem Kehlkopfe liegt der Kehldeckel, der die Luftröhre vor dem Eindringen der Speisen und überhaupt fremder Körper schützt.

Durch das Stimmorgan werden die Töne wie durch eine Zungenpfeife erzeugt. Die Lungen geben den Wind, die Luftröhre enthält die schwingende Luftsäule, die Stimmbänder vertreten das vibrirende Metallplättchen.

Bei Kindern und Frauen ist die Stimme höher, als bei Männern; warum? Das Treffen der Töne beim Singen besteht in welcher Fertigkeit? Worin besteht Heiserkeit?

Dritter Abschnitt.

Das Licht.

A. Vom Lichte im Allgemeinen.

§ 81. Was ist Licht?

§ 81. Wir sehen die Gegenstände, heißt: Die Gegenstände machen einen Eindruck auf unsern Augennerv. Da die Wahrnehmung durch die übrigen Sinneswerkzeuge nur mittelst Berührung der Nerven durch eine Materie hervorgebracht wird, so nimmt man auch beim Sehen eine materielle Berührung des Nerven an.

Newton stellte die Hypothese auf: Es wird von dem leuchtenden Körper eine feine Materie (Lichtstoff) ausgesendet, die unsern Augennerv trifft (Emanationshypothese). Da sich jedoch durch dieselbe nicht alle Lichterscheinungen genügend erklären lassen, so machte Euler folgende Ansicht geltend, die schon der Holländer Huyghens 1690 aufgestellt hatte: Der ganze Weltraum ist von einer feinen Materie (Lichtäther) erfüllt, welche von den leuchtenden Körpern, deren Atome in lebhafter Vibration begriffen sind, in ähnliche Schwingungen versetzt wird, wie die Luft von den schallenden. (Vibrations- oder Undulationshypothese.) Diese letztere Ansicht ist die jetzt noch herrschende.

Diesem Lichtäther aber gehen zwei wesentliche Merkmale der Materie, die Wägbarkeit und die Absperrbarkeit ab, daher nennt man ihn einen hypothetischen oder auch imponderablen Stoff.

Nach der ersten Hypothese ist Licht der ausgesendete Lichtstoff, nach der zweiten die Wellenbewegung des Aethers, also im Allgemeinen: Licht ist das, was uns die Körper sichtbar macht.

Das Licht selbst kann man nicht sehen, sondern nur die Körper, von denen es ausgeht.

§ 82. Wirkungen des Lichtes.

§ 82. Das Licht macht uns nicht blos die Körper sichtbar, sondern es bringt auch noch andere bedeutende Wirkungen hervor.

1) Es ist von großem Einflusse auf das Gedeihen der organischen Wesen.

Die Pflanzen verdanken dem Lichte ihre Farben; denn wenn dieselben im Dunkeln wachsen, etwa im Keller, so haben Blätter und Blüthen eine weißgelbe Farbe. In den Tropengegenden, wo das Sonnenlicht viel intensiver ist, als bei uns, herrscht in der Pflanzen- wie in der Thierwelt eine viel lebhaftere Farbenpracht. Menschen, welche wenig an das Tageslicht kommen, sehen bleich aus.

2) Es bewirkt chemische Zersetzungen.

Es färbt z. B. reine concentrirte Salpetersäure gelb oder roth, scheidet das Gold aus seinen Auflösungen, Silber aus Silbersalzen, z. B. dem Silberchlorid, und schwärzt es; es bewirkt bei einem Gemisch von gleichviel Wasserstoff und Chlorgas eine Explosion, zerstört die meisten Farben.

Hier haben wir das Licht nur als die Ursache des Sichtbarwerdens der Körper zu betrachten.

§ 83. Manche Körper sehen wir unmittelbar, z. B. die Fixsterne, das Feuer; andere nur durch Vermittelung der ersteren, z. B. Steine, Holz; noch andere sind uns unsichtbar, z. B. die meisten Gasarten. Die Körper der ersten Art nennen wir **leuchtende**, die anderen beiden **dunkele**.

§ 83. Leuchtende, dunkele, durchsichtige, undurchsichtige Körper.

Die leuchtenden Körper sind uns dadurch sichtbar, daß sie unmittelbar Licht in unser Auge senden, die dunkeln dadurch, daß sie das von den leuchtenden Körpern empfangene Licht zurückwerfen (reflectiren) und so unser Auge afficiren. Die unsichtbaren sehen wir deshalb nicht, weil sie das Licht nicht zurückwerfen, sondern durch sich hindurchlassen. Daher kann man auch durch sie hindurch andere Körper sehen, wovon sie ihren Namen, durchsichtige Körper, haben.

Daß die dunkeln undurchsichtigen Körper das Licht reflectiren, läßt sich leicht zeigen, indem man irgend einen Körper, z. B. die Hand, oder ein Blatt Papier so in die Nähe des Fensters hält, daß die vordere Fläche vom Tageslichte, oder noch besser unmittelbar von den Sonnenstrahlen getroffen wird und nach der dunklen Seite des Fensterpfeilers gerichtet ist. Man sieht dann die Wand stärker erleuchtet.

Es giebt aber weder vollkommen durchsichtige, noch vollkommen undurchsichtige Stoffe.

In sehr dicken Schichten sind selbst die durchsichtigsten Körper sichtbar. In tiefen Seen sieht man nicht bis auf den Grund, wenn das Wasser auch noch so klar ist. Das hellste Glas erscheint farbig, wenn man mehrere Scheiben über einander legt und ein Blatt weißes Papier dahinter hält; selbst die Luft ist nicht vollkommen durchsichtig, sonst könnte der Himmel nicht blau, ein fernes Gebirge nicht bläulich erscheinen. In Gebäuden, in welchen die Treppen ihr Licht durch ein Fenster im Dache erhalten, werden diese bei klarem Himmel durch das von der Luft reflectirte Licht erleuchtet.

In sehr dünnen Schichten lassen selbst die undurchsichtigsten Körper Licht durch. Z. B. sehr dünne Blättchen von Metall oder von Holz sind durchscheinend.

B. Optik im engeren Sinne,

d. i. die Lehre von der geradlinigen Verbreitung des Lichtes.

§ 84. 1) Einen leuchtenden Körper kann man von allen Seiten sehen, wenn nicht ein undurchsichtiger Körper zwischen ihm und unserm Auge sich befindet.

§ 84. Das Licht verbreitet

sich nach allen Seiten und in geraden Linien.

Er verbreitet also das Licht nach allen Seiten.

2) Man kann denselben aber nicht mehr sehen, sobald man einen undurchsichtigen Körper in die gerade Linie zwischen ihm und dem Auge hält.

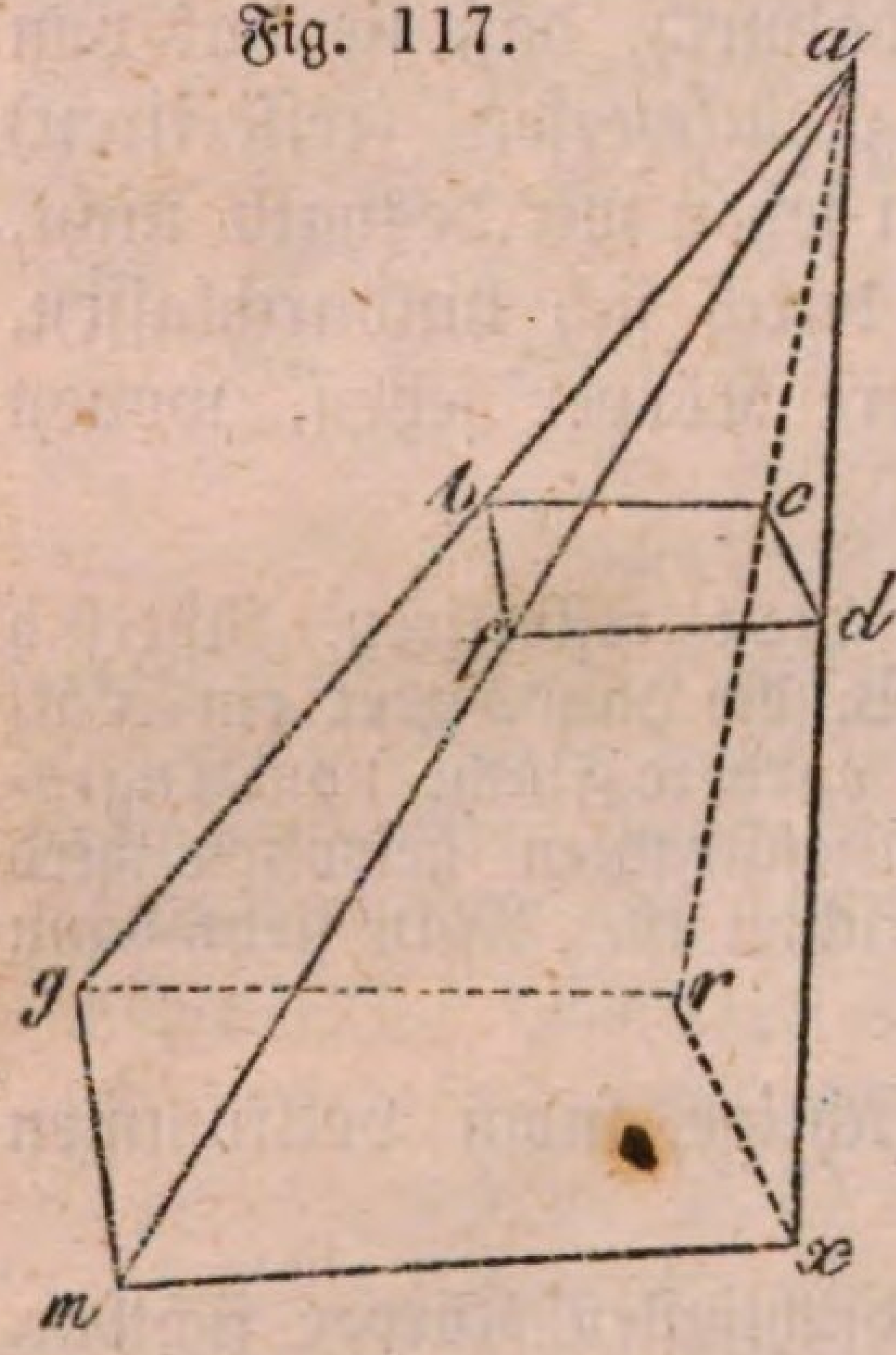
Das Licht verbreitet sich demnach in geraden Linien (in demselben durchsichtigen Mittel). Diese geraden Linien nennt man **Lichtstrahlen**.

3) Die dem leuchtenden Körper zugewandte Seite des undurchsichtigen Körpers ist desto stärker erleuchtet, je näher dieser dem leuchtenden Körper ist, und zwar:

Stärke der Erleuchtung.

Die Stärke der Erleuchtung ist umgekehrt dem Quadrate der Entfernung proportional, d. h. bei nmal so großer Entfernung ist die Erleuchtung n^2mal so schwach.

Fig. 117.



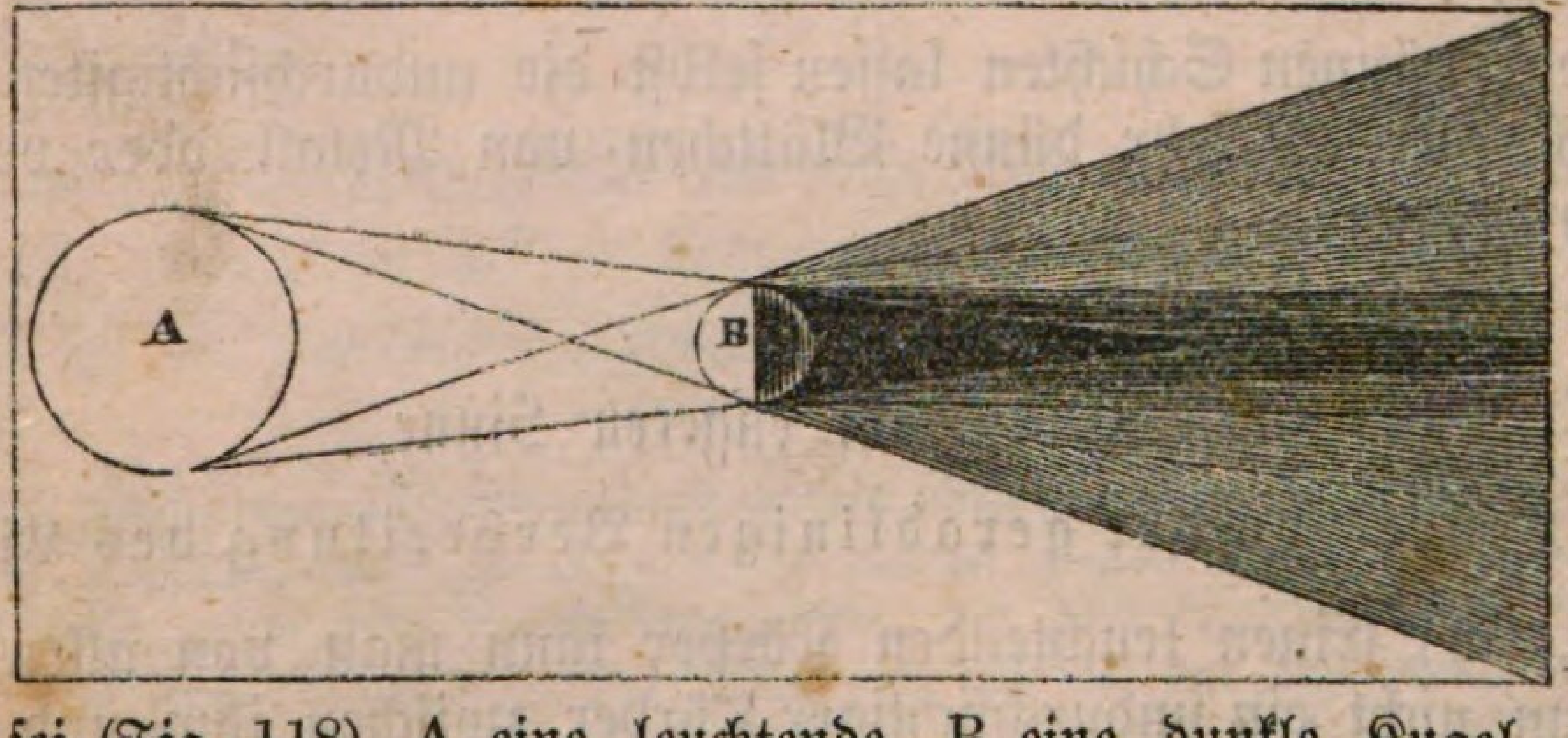
Beweis. (Fig. 117.) a sei ein leuchtender Punkt, bcdf eine von ihm beschienene Fläche, so wird diese von den Lichtstrahlen erleuchtet, welche innerhalb der Pyramide abcdf liegen. Von eben denselben Lichtstrahlen wird die Fläche gmxr getroffen, wenn man bcdf wegnimmt. Ist nun gmxr nmal so weit von a entfernt, als bcdf, so ist sie n^2mal so groß, als diese (parallele Pyramidenschnitte verhalten sich wie die Quadrate ihrer Höhen), also muß ihre Erleuchtung n^2mal schwächer sein, als die von bcdf.

Hält man beim Lesen das Buch einmal 3 Decimeter, ein andermal 6 Decimeter vom Lichte, so ist dasselbe im zweiten Falle 4mal schwächer erleuchtet, als im ersten, und es bedürfte nun 4 eben solcher Lichter, wenn man dieselbe Erleuchtungsstärke erlangen wollte.

Schatten, Kernschatten, Halbschatten.

4) Hinter dem dunkeln Körper befindet sich ein Raum, welcher von dem leuchtenden Körper gar kein Licht, und ein anderer, welcher nur von einigen Theilen desselben Licht erhält. Ersteren nennt man **Kernschatten**, letzteren **Halbschatten**.

Fig. 118.



Es sei (Fig. 118) A eine leuchtende, B eine dunkle Kugel, so ist der durch die äußeren Tangenten begrenzte Raum der Kernschatten, der durch die

inneren begrenzte Raum der Halbschatten. Kern- und Halbschatten gehen allmälig in einander über. Hält man den Finger in die Sonne und fängt den Schatten dicht hinter demselben auf, so scheint der Schatten scharf begrenzt, die Grenzen desselben werden aber immer unbestimmter, in je größerer Entfernung man denselben auffallen läßt.

Anwendungen.

a. Die verschiedenen Mondphasen entstehen dadurch, daß von der uns zugewandten Seite des Mondes bald ein kleinerer, bald ein größerer Theil erleuchtet ist. Mond- und Erdschein ergänzen sich gegenseitig, so daß, wenn wir z. B. das erste Viertel Mondschein haben, der Mond das letzte Viertel des Erdscheins hat. — Mondphasen.

Warum sehen wir kurz nach Neumond auch den dunkeln Theil der Scheibe?

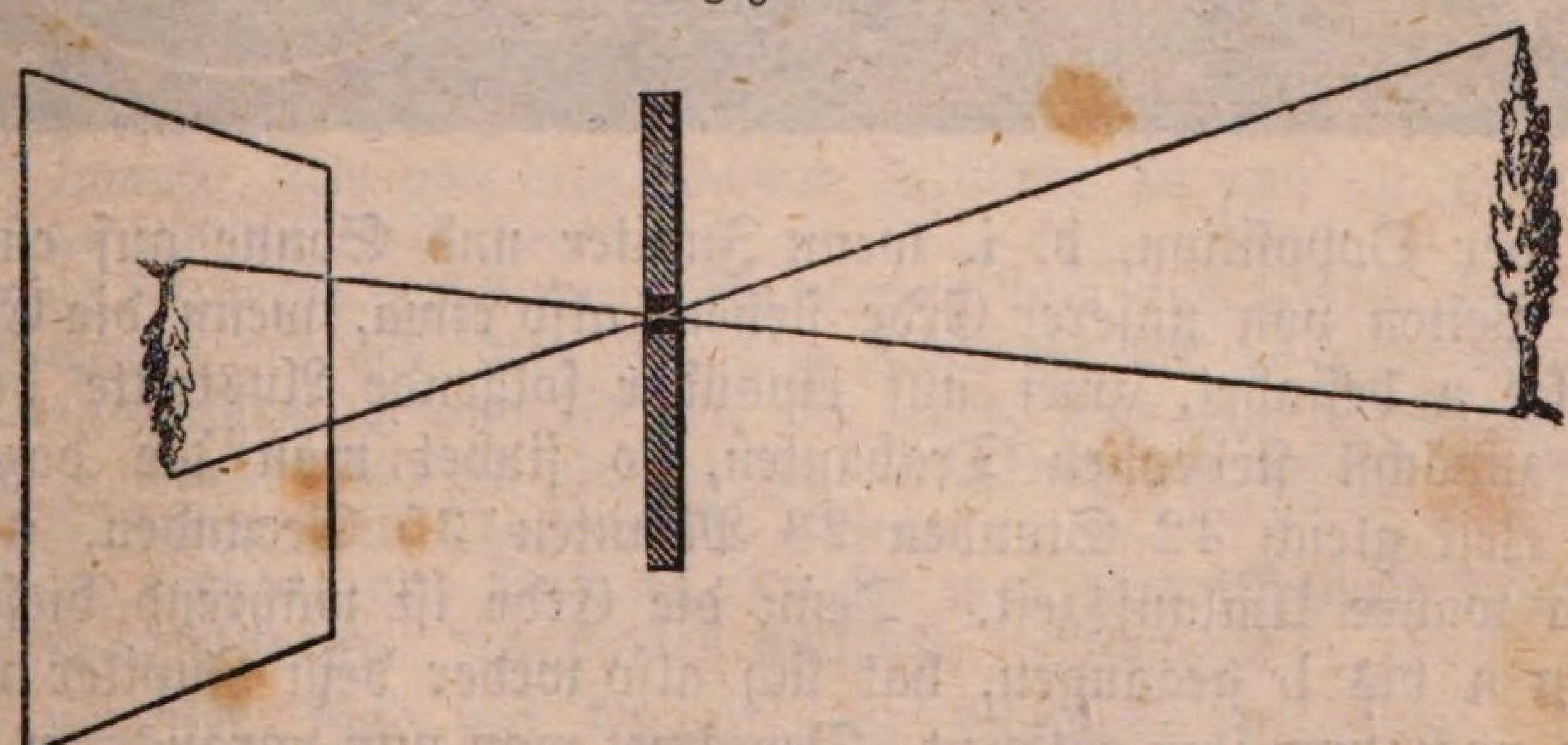
b. Eine Mondfinsterniß entsteht, wenn der Mond in den Kernschatten der Erde, und zwar eine partiale, wenn er nur zum Theil, eine totale, wenn er ganz in denselben tritt. — Mond-,

c. Eine Sonnenfinsterniß erhält derjenige Theil der Erde, welcher in den Schatten des Mondes, und zwar eine partiale, welcher in den Halbschatten, eine totale, welcher in den Kernschatten des Mondes gelangt. — Centrale Finsterniß, ringförmige Sonnenfinsterniß. — — Sonnenfinsterniß.

Eine Mondfinsterniß kann nur bei Vollmond, eine Sonnenfinsterniß nur bei Neumond entstehen.

d. Befindet sich vor einer ganz kleinen Oeffnung in dem Laden eines verdunkelten Zimmers ein leuchtender Gegenstand, so sendet jeder Punkt desselben eine Strahlenpyramide durch die Oeffnung. Es muß demnach jeder Punkt des Gegenstandes auf der hinter der Oeffnung befindlichen Wand einen hellen Fleck von der Form der Oeffnung erzeugen, der desto kleiner ist, je näher die Wand hinter, und je weiter der Gegenstand vor der Oeffnung sich befindet. Der vom obersten Punkte des Gegenstandes erzeugte helle Fleck liegt aber am tiefsten, der vom untersten erzeugte am höchsten; ein Punkt, welcher links liegt, — Bilder im dunkeln Zimmer von Gegenständen außerhalb desselben.

Fig. 119.



erzeugt einen hellen Fleck rechts u. s. w. Wenn nun die hellen Flecke so klein sind, daß sie fast als Punkte erscheinen, so erzeugt jeder Punkt

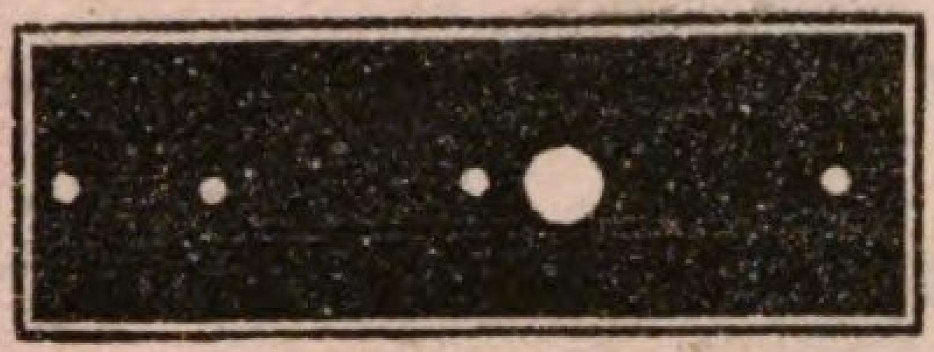
des Gegenstandes wieder einen hellen Punkt, nur in umgekehrter Ordnung, es muß also ein umgekehrtes Bild an der Wand des Gegenstandes entstehen. (Siehe umstehend Fig. 119.)

§ 85. Geschwindigkeit des Lichtes.

§ 85. Schon die Emanationshypothese hatte auf die Vermuthung geführt, daß das Licht sich nicht momentan verbreiten könne, sondern daß es, wie der Schall, zur Durchlaufung eines Raumes einer gewissen Zeit bedürfe. Dennoch führten alle dahin gerichteten Versuche auf das entgegengesetzte Resultat, bis der dänische Astronom Olaf Römer im Jahre 1675—76 bei den Beobachtungen der Jupiterstrabanten, die er auf der Sternwarte zu Paris mit Cassini anstellte, obige Vermuthung bestätigt fand und die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmte.

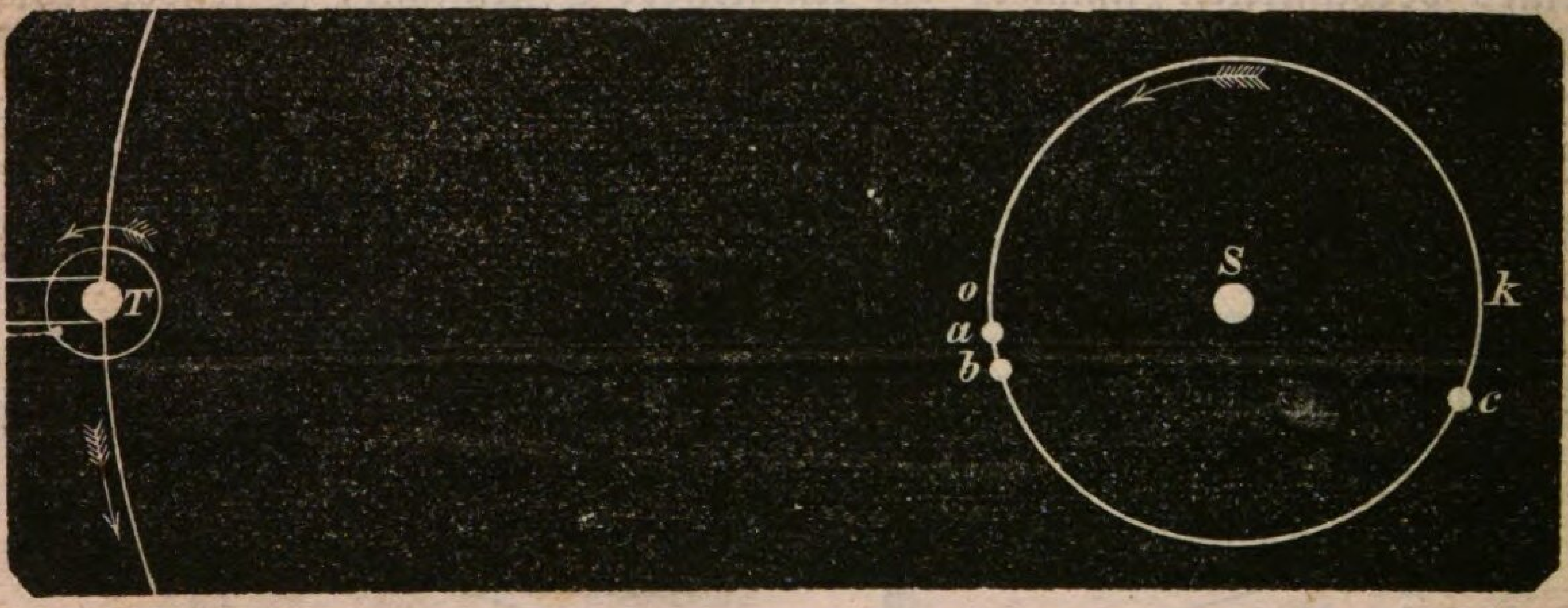
Die vier Jupiterstrabanten und der Jupiter scheinen uns nämlich stets fast in gerader Linie zu stehen (Fig. 120). Daraus folgt, daß ihre Bahnen mit unserer Erdbahn fast in einerlei Ebene liegen, und daraus wieder, daß die Trabanten bei jedem Umlaufe durch den Schatten des Jupiter gehen und während dieser Zeit für uns unsichtbar sind.

Fig. 120.



In Fig. 121 sei T der Jupiter, der um ihn gezogene Kreis die Bahn des ihm zunächst stehenden Trabanten, S die Sonne und der um S gezogene Kreis abck die Erdbahn. Beobachtet man nun um

Fig. 121.



die Zeit der Opposition, d. i. wenn Jupiter und Sonne auf entgegengesetzten Seiten von unserer Erde stehen, also etwa, wenn die Erde sich im Punkte a befindet, zwei auf einander folgende Austritte des dem Jupiter zunächst stehenden Trabanten, so findet man die dazwischen liegende Zeit gleich 42 Stunden 28 Minuten 35 Secunden, und das ist dessen wahre Umlaufszeit. Denn die Erde ist während dieser Zeit etwa von a bis b gegangen, hat sich also weder dem Jupiter merklich genähert noch von ihm entfernt. Berechnet man nun voraus, zu welcher Zeit die folgenden Austritte stattfinden müssen, und beobachtet dann etwa den 100. Austritt, bei welchem dann die Erde etwa in c steht,

so findet man, daß derselbe ungefähr 15 Minuten später erfolgt, als er nach der Rechnung erfolgen sollte.

Diese Verspätung läßt sich nun daraus erklären, daß das Licht zur Durchlaufung der Strecke, um welche die Erde in c weiter vom Jupiter oder, streng genommen, von dem Trabanten desselben, absteht, als in b, 15 Minuten Zeit gebraucht. Ist diese Vermuthung richtig, so kann man auch die Geschwindigkeit des Lichtes bestimmen; denn die Strecke, um welche die Erde in c weiter vom Jupiter absteht, als in b, läßt sich berechnen; und ist diese nun n Meilen, so durchläuft das Licht in einer Minute $\frac{n}{15}$ und in einer Secunde $\frac{n}{15 . 60}$ Meilen. Auf diese Weise hat man gefunden, daß das Licht in einer Secunde 42000 Meilen zurücklegt.

Die genannte Vermuthung wird aber dadurch zur Gewißheit, erstens, daß derjenige vorherberechnete Austritt, welcher stattfindet, wenn die Erde wieder dieselbe Entfernung vom Jupiter hat, als bei dem zuerst beobachteten, auch genau in dem berechneten Zeitpunkte stattfindet. Ferner durch folgende Erscheinung: Beobachtet man kurz nach der Conjunction, d. i. wenn Jupiter und Sonne auf derselben Seite der Erde stehen, einen Eintritt des Trabanten in den Schatten des Jupiter (denn von der Conjunction bis zur nächsten Opposition kann man nur die Eintritte des Trabanten in den Schatten des Jupiter, von da bis zur nächsten Conjunction nur die Austritte sehen, warum?) und berechnet nun im Voraus die Zeitpunkte der folgenden Eintritte, so erfolgt derjenige Eintritt, bei welchem die Erde n . 42000 Meilen dem Jupiter näher steht, als beim ersten, um n Secunden früher, als die Rechnung ergiebt.

Den Weg von der Sonne bis zur Erde legt das Licht in $8^1/_2$ Minuten zurück, aber dennoch sehen wir den obersten Rand der Sonne in demselben Augenblicke, wo er über unsern Horizont kommt; denn in diesem Augenblicke kommt unser Standpunkt durch Umdrehung der Erde um ihre Achse in die Sonnenstrahlen und diese sind schon vor $8^1/_2$ Minuten von der Sonne ausgegangen. (Sobald wir bei Regenwetter aus der Hausthür treten, werden wir von den Regentropfen getroffen, wenn diese auch mehrere Secunden Zeit gebrauchen, um von der Wolke bis zur Erde zu kommen.) Wir werden später sehen, daß wir den Sonnenrand noch früher erblicken, als er über unsern Horizont kommt. Um von dem nächsten Fixsterne zu uns zu gelangen, gebraucht das Licht über 3 Jahre.

Da die Fixsterne verschiedene Entfernung von uns haben, so sehen wir bei Betrachtung des gestirnten Himmels Licht, welches zu ganz verschiedenen Zeiten ausgegangen ist, und könnten wir sehen, was auf den Fixsternen vor sich geht, so würden wir zu gleicher Zeit Begebenheiten sehen, welche sich zu ganz verschiedenen Zeiten zugetragen hätten.

Warum mußten alle Versuche, welche man mit irdischen Gegenständen über die Geschwindigkeit des Lichtes anstellte, fehlschlagen?

In neuester Zeit hat Fizeau eine Methode gefunden, auch die Geschwindigkeit des irdischen Lichtes zu messen und dasselbe Resultat gefunden: 42000 Meilen in einer Secunde.

Das Princip derselben ist ungefähr folgendes: Ein Zahnrad ist mit einem Uhrwerke so verbunden, daß es sich durch dasselbe in Rotation von beliebiger, aber durch das Uhrwerk stets bestimmbarer Geschwindigkeit versetzen läßt. Ist nun hinter den Zähnen desselben auf der einen Seite eine stark leuchtende Flamme und auf der andern Seite ein Fernrohr so aufgestellt, daß bei stillstehendem Rade Flamme und Fernrohr zugleich hinter einer Zahnlücke stehen, so sieht man in einem etwa in einer Entfernung von einer Meile aufgestellten Planspiegel durch das Fernrohr das Bild der Flamme. Das Licht legt hierbei einen Weg von 2 Meilen zurück. Bei langsamer Drehung des Rades sieht man fortwährend das Licht; bei einer gewissen Rotationsgeschwindigkeit aber bleibt das Gesichtsfeld des Spiegels dunkel. Dieser Fall tritt ein, wenn sich das Rad während der Zeit, daß das Licht durch die Zahnlücke nach dem Spiegel und von da zurück in's Fernrohr gegangen ist, um eine halbe Zahn-Entfernung gedreht hat. Diese Zeit läßt sich berechnen aus der Menge der Zähne und der Menge Umdrehungen, welche das Rad in einer Secunde macht.

C. Katoptrik,

d. i. die Lehre von der Zurückwerfung (Reflexion) des Lichtes.

§ 86. Allgemeine Gesetze der Reflexion.

§ 86. Die allgemeinsten Gesetze der Zurückwerfung ergeben sich, wenn man das durch eine Oeffnung eines verdunkelten Zimmers einfallende Licht mit verschiedenen Flächen auffängt und diese gegen einen weißen Schirm richtet. Um Versuche mit farbigem Lichte anzustellen, verschließt man die Oeffnung mit farbigem Glase.

1) Alle undurchsichtigen Körper, außer den unpolirten schwarzen, werfen das Licht zurück, und zwar desto stärker, je mehr sich ihre Farbe dem Weiß nähert; am stärksten werfen die glatten Körper das Licht zurück, mögen sie eine Farbe haben, welche sie wollen.

Schwarze Körper sind also solche, welche kein Licht in unser Auge werfen, welche wir also eigentlich nicht sehen. Warum sehen wir dennoch die schwarzen Körper? Tiefe Brunnen, Fensteröffnungen erscheinen schwarz, während man doch von ersteren den Grund, durch letztere die gegenüberliegenden Wände sehen sollte. Warum? Jeder lichtlose Raum erscheint schwarz.

2) Die weißen Körper werfen das Licht in derselben Farbe zurück, in welcher sie es empfangen, die farbigen in veränderter Farbe.

Denn eine weiße Fläche, von rothem Lichte beleuchtet, erscheint roth, von grünem Lichte beleuchtet, grün u. s. w. Fällt aber auf eine rothe Fläche blaues Licht, so erscheint sie violett; eine blaue, auf welche gelbes Licht fällt, erscheint grün u. dgl. Das weiße Licht wird von jeder Fläche in der ihr eigenen Farbe reflectirt. Diese Erscheinungen finden später ihre Erklärungen. Bei Kerzen- oder Lampenschein kann man nur schwer bestimmen, ob ein Gegenstand grün oder blau ist. Woher weiß man, daß das Sonnenlicht weiß ist, da man doch die Sonne nur durch gefärbte Gläser ansehen kann? Warum die Maler von der Sonne erleuchtete Gegenden oder Gegenstände gelblich malen, wird später klar werden.

Die polirten Körper zeigen außerdem, daß sie das Licht sehr stark zurückwerfen, noch die eigenthümliche Erscheinung, daß sie von den sie

erleuchtenden Körpern Bilder erzeugen, und heißen in Beziehung hierauf Spiegel. Sie selbst sind desto weniger sichtbar, je vollkommener sie spiegeln. Beide Erscheinungen beruhen auf Reflexionsgesetzen, die in den folgenden Paragraphen näher erörtert werden.

Auch die Oberflächen aller durchsichtigen Körper spiegeln, und zwar nicht nur die nach außen, sondern auch die nach dem Innern des Körpers gerichtete Seite derselben. (An einem Glaswürfel sehr in die Augen fallend.)

Warum sind Wasserschaum, Schnee und zerstoßenes Eis undurchsichtig? Des Abends lassen sich die erleuchteten Parterrezimmer eines Hauses, auch wenn die Fenster geschlossen sind, von der Straße aus deutlich übersehen, am Tage in der Regel nicht, obwohl sie da besser erleuchtet sind. Warum? Fensterscheiben kann man als Spiegel benutzen, wenn man eine schwarze Fläche dahinter hält.

Der Planspiegel.

§ 87. Reflexionsgesetze für den Planspiegel.

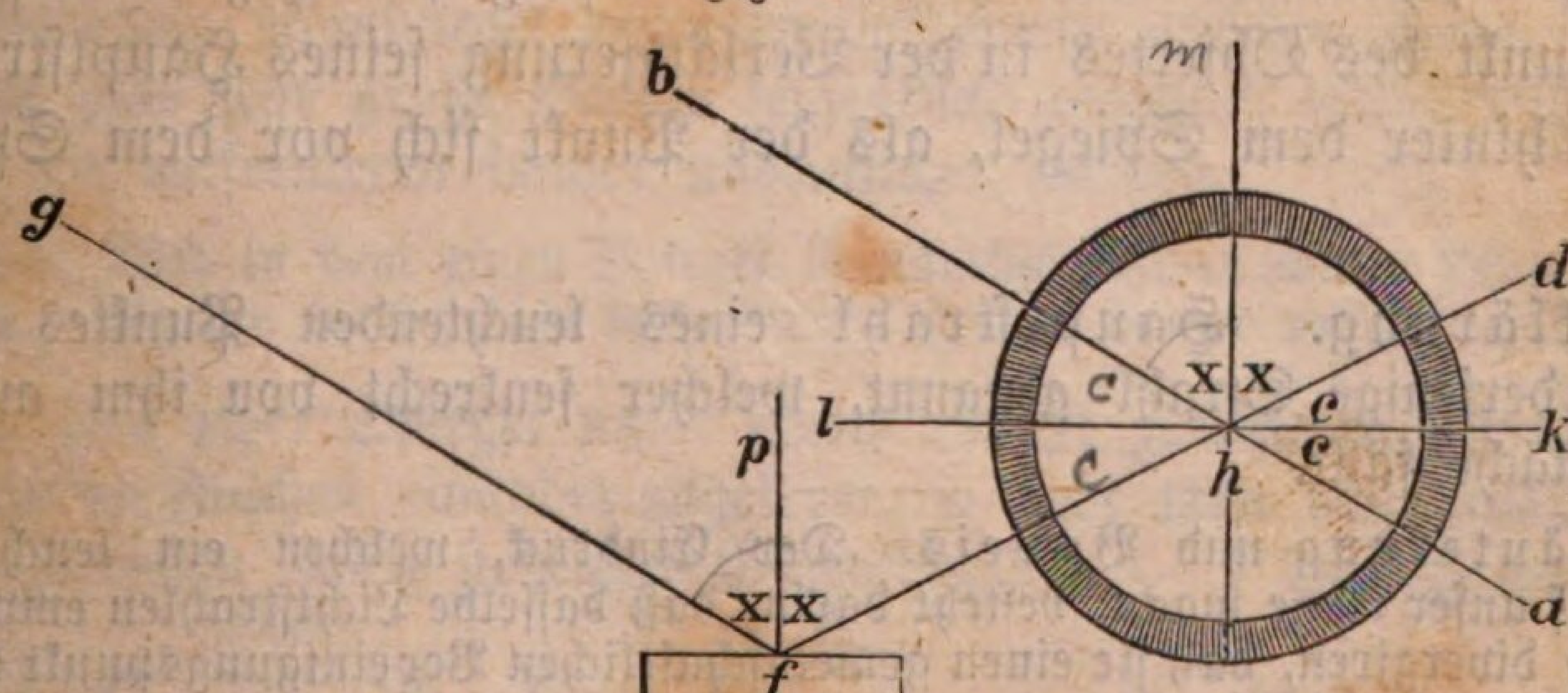
§ 87. Das Licht wird von dem Planspiegel so reflectirt, daß die durch den einfallenden und den reflectirten Strahl gelegte Ebene senkrecht auf der Spiegelfläche steht, und daß der Reflexionswinkel gleich dem Einfallswinkel ist.

Erklärung. Einfalls- und Reflexionswinkel sind nämlich die Winkel, welche der einfallende und der reflectirte Strahl mit dem auf der Spiegelfläche in dem Einfallspunkte errichteten Lothe (Einfallsloth) bilden.

Der erste Theil des Gesetzes läßt sich auch so aussprechen: Der einfallende und der reflectirte Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einerlei Ebene.

Beweis. Das Gesetz läßt sich durch ein Instrument (Theodolith) (Fig. 122) nachweisen, welches im Wesentlichen aus einem Fernrohre besteht, das um die Achse eines verticalstehenden getheilten Kreises gedreht werden kann.

Fig. 122.



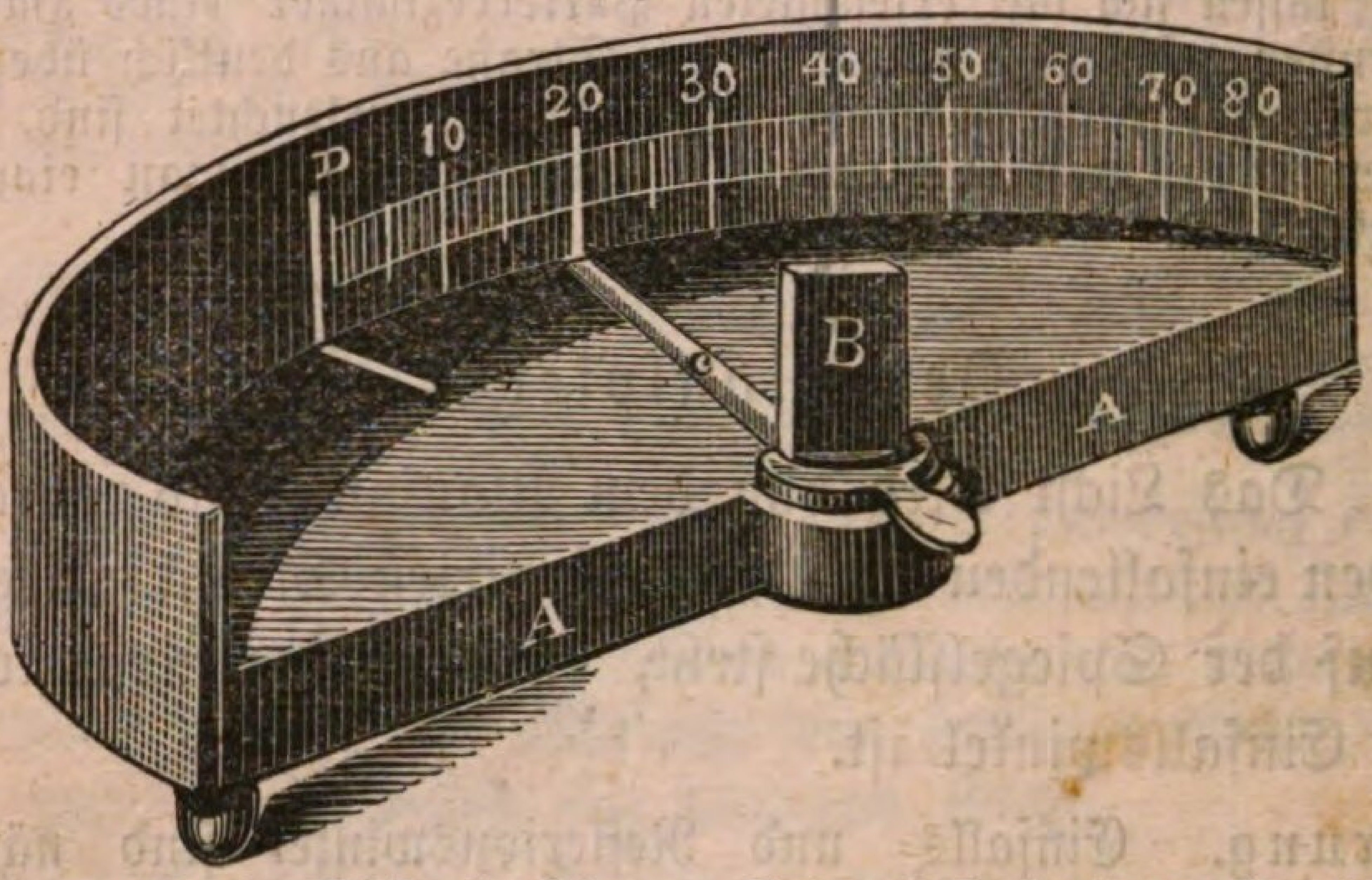
Visirt man mit diesem nach einem Sterne, etwa in der Richtung ab und dann nach dem Bilde desselben, welches von einem horizontalen Spiegel (gewöhnlich eine Quecksilberoberfläche) reflectirt wird, also in der Richtung df,

so findet man, daß die Winkel, welche die beiden Linien ab und df mit der Horizontalen kl bilden, cc, und also auch die, welche sie mit der Verticalen bilden, xx gleich sind.

Da nun die beiden Strahlen bh und gf, weil sie von demselben unendlich weit entfernten Sterne herkommen, parallel sind, so bilden auch df und gf mit der Verticalen p gleiche Winkel. Beide liegen in der Umdrehungsebene des Fernrohres, also in einer Ebene, welche senkrecht auf der Spiegel-Ebene steht.

Noch bequemer läßt sich das Gesetz durch das Fig. 123 dargestellte Instrument anschaulich machen: Ein halber Cylinder von Blech hat in der Mitte einen feinen Spalt D, durch welchen eine davorstehende Flamme Licht auf

Fig. 123.



den um eine verticale Achse drehbaren Spiegel B sendet. An dem Spiegel ist ein Stäbchen c befestigt, welches am Ende einen verticalen Zeiger trägt, und senkrecht auf der Spiegelebene steht. Steht dieser Zeiger an dem Spalte, so fällt das vom Spiegel zurückgeworfene Licht ebenfalls auf den Spalt; ist der Spiegel aber so gedreht, daß der Zeiger auf der Zahl 20 der Kreistheilung steht, so fällt das reflectirte Licht auf die Zahl 40.

Hieraus lassen sich nun nicht blos alle Reflexions-Erscheinungen der Planspiegel, sondern auch der sphärischen Spiegel erklären.

§ 88. Ortsbestimmung der Bilder im Planspiegel.

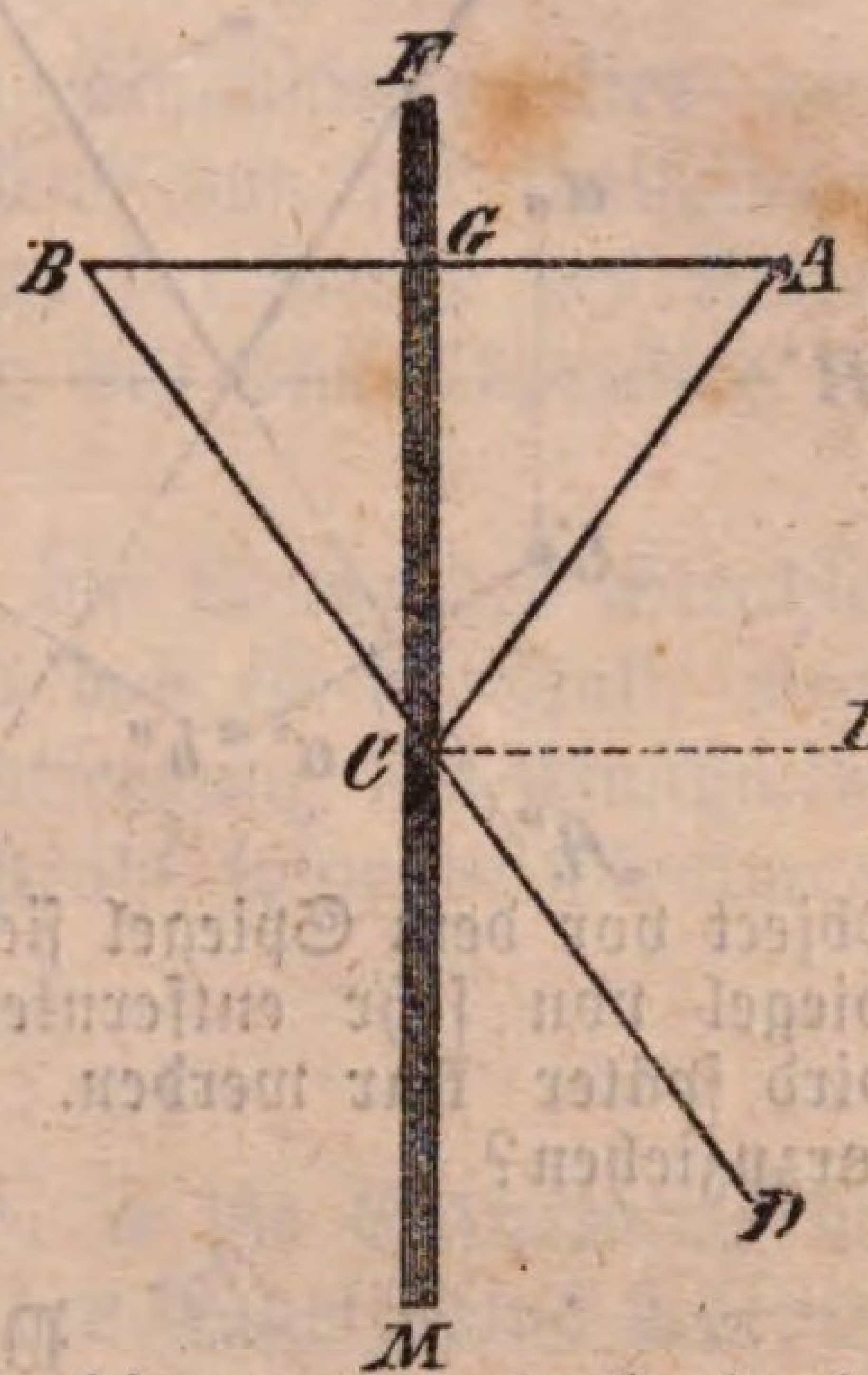
§ 88. Von einem Objecte, welches sich vor dem Planspiegel befindet, erscheint ein Bild hinter dem Spiegel, und zwar erscheint jeder Punkt des Objectes in der Verlängerung seines Hauptstrahles so weit hinter dem Spiegel, als der Punkt sich vor dem Spiegel befindet.

Erklärung. Hauptstrahl eines leuchtenden Punktes wird nämlich derjenige Strahl genannt, welcher senkrecht von ihm auf die Spiegelfläche fällt.

Erläuterung und Beweis. Der Eindruck, welchen ein leuchtender Punkt auf unser Auge macht, besteht darin, daß dasselbe Lichtstrahlen empfängt, welche so divergiren, daß sie einen gemeinschaftlichen Vereinigungspunkt haben. So oft wir also Lichtstrahlen in unser Auge bekommen, welche so divergiren, daß sie einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt haben, müssen wir einen leuchtenden Punkt sehen. Da wir nun von jedem leuchtenden Punkte vor dem Spiegel ein Bild hinter dem Spiegel sehen, so müssen die von dem leuchten-

den Punkte ausgehenden Strahlen so reflectirt werden, daß sie hinter dem Spiegel einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt haben. Das läßt sich aus dem im vorigen Paragraphen entwickelten Gesetze beweisen; auch läßt sich der Ort des Bildes bestimmen.

Fig. 124.



(Fig. 124.) FM sei ein Planspiegel, A ein leuchtender Punkt vor demselben, AG der Hauptstrahl, AC ein beliebiger anderer Strahl, CL dessen Einfallsloth; AG wird in der Richtung GA, AC werde in der Richtung CD zurückgeworfen. Nun sind AG und CL parallel, liegen also in einerlei Ebene; in derselben Ebene liegt auch AC und folglich auch CD; folglich liegen CD und AG in einerlei Ebene, müssen sich also, da sie nicht parallel sind, schneiden. Ferner ist Δ AGC $\cong$ Δ BGC, folglich GB = GA.

Da nun ein beliebiger Strahl den Hauptstrahl schneidet, und zwar in dem bestimmten Punkte B, so muß jeder Strahl denselben in B schneiden, was zu beweisen war.

Hiernach läßt sich auch erklären, warum wir eine gute Spiegelfläche selbst nicht sehen können. Sollten wir die Spiegelfläche sehen können, so müßten von jedem Punkte derselben Lichtstrahlen, divergent ausgehend, in unser Auge kommen, d. h. die von der Spiegelfläche in unser Auge kommenden Strahlen müßten ihren Vereinigungspunkt in der Spiegelfläche haben. Nun wird aber alles Licht, welches die Spiegelfläche empfängt, so zurückgeworfen, daß sich die von jedem Punkte der beleuchtenden Körper ausgehenden Strahlen wieder in einem Punkte hinter der Spiegelfläche schneiden, also sehen wir nur hinter der Spiegelfläche leuchtende Punkte, nämlich Bilder der beleuchtenden Punkte und nicht die Spiegelfläche selbst. (Vollkommene Spiegelflächen würden unsichtbar sein.)

Eine nicht polirte Ebene wirft die von einem Punkte ausgehenden Strahlen unregelmäßig zurück, so daß sie rückwärts verlängert, sich nicht in einem Punkte schneiden; jeder Punkt der Fläche erhält aber von unendlich vielen leuchtenden Punkten Licht, welches er zurückwirft, folglich gehen von jedem Punkte der Fläche unendlich viele divergirende Strahlen aus, also sehen wir jeden Punkt der Fläche.

Solches unregelmäßig zurückgeworfene Licht heißt zerstreutes Licht.

Parallele Planspiegel erzeugen von einem zwischen ihnen stehenden Objecte eine sehr große Menge (eigentlich unendlich viele) Bilder, von denen die entfernteren immer undeutlicher werden. (Parallele Spiegel.)

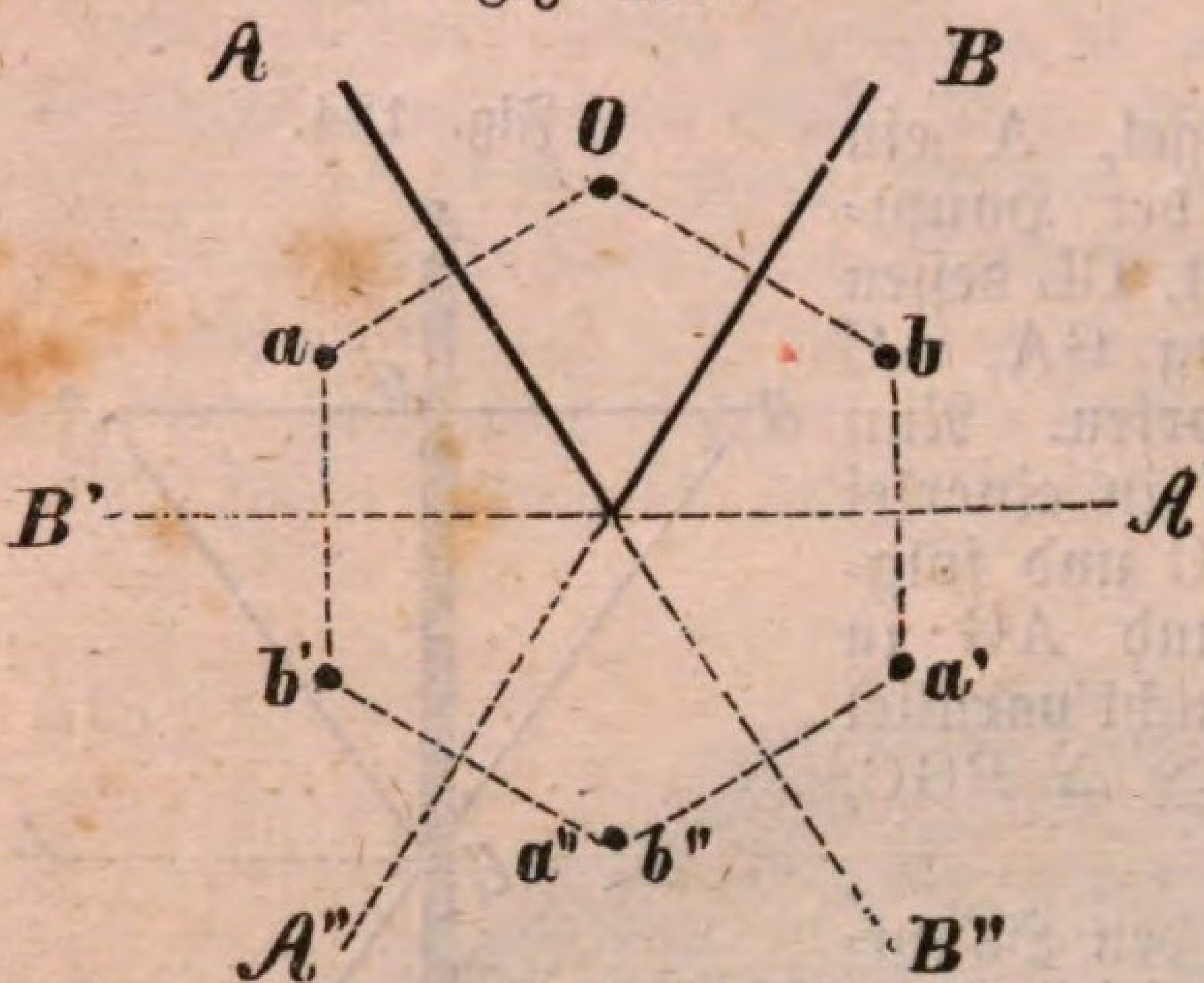
Das Bild in dem einen Spiegel ist nämlich immer wieder Object für den andern. Warum werden die entfernteren Bilder immer undeutlicher?

Stehen zwei Spiegel unter einem Winkel zusammen und sind ihre spiegelnden Flächen einander zugekehrt, so sieht man von einem in der Mitte zwischen ihnen stehenden Gegenstande n — 1 Bilder, wenn jener Winkel $= \frac{360^0}{n}$ ist.

Ist also der Winkel = 60°, so sieht man 5 Bilder, ist er = 45°, so sieht man 7 Bilder. Die Bilder liegen in einem Kreise und zwar in gleichen

Abständen von einander. Der Beweis ist leicht, wenn man zu Grunde legt, daß das Bild in dem einen Spiegel immer wieder Object für den andern ist, und man zugleich den Ort andeutet, wo die eine Spiegelfläche, wenn sie sichtbar wäre, als Bild in der andern erscheinen würde. (Siehe Fig. 125.)

Fig. 125.



Die gewöhnlichen Glasspiegel sind eigentlich Metallspiegel; sie erzeugen immer mehrere Bilder. Warum? Besonders viele Bilder sieht man von einer Lichtflamme. Der Abstand dieser Bilder von einander sollte bei einem guten Spiegel stets gleich der doppelten Dicke des Glases sein. — Beweis. — In der Regel stehen sie aber desto weiter von einander, je weiter das Object vor dem Spiegel sich befindet. Warum? Weshalb alle unsere Stubenspiegel von sehr entfernten Gegenständen krumme verzogene Bilder geben, wird später klar werden. Warum sind die Metallspiegel den Glasspiegeln vorzuziehen?

Der sphärische Spiegel.

Was sind sphärische Spiegel?

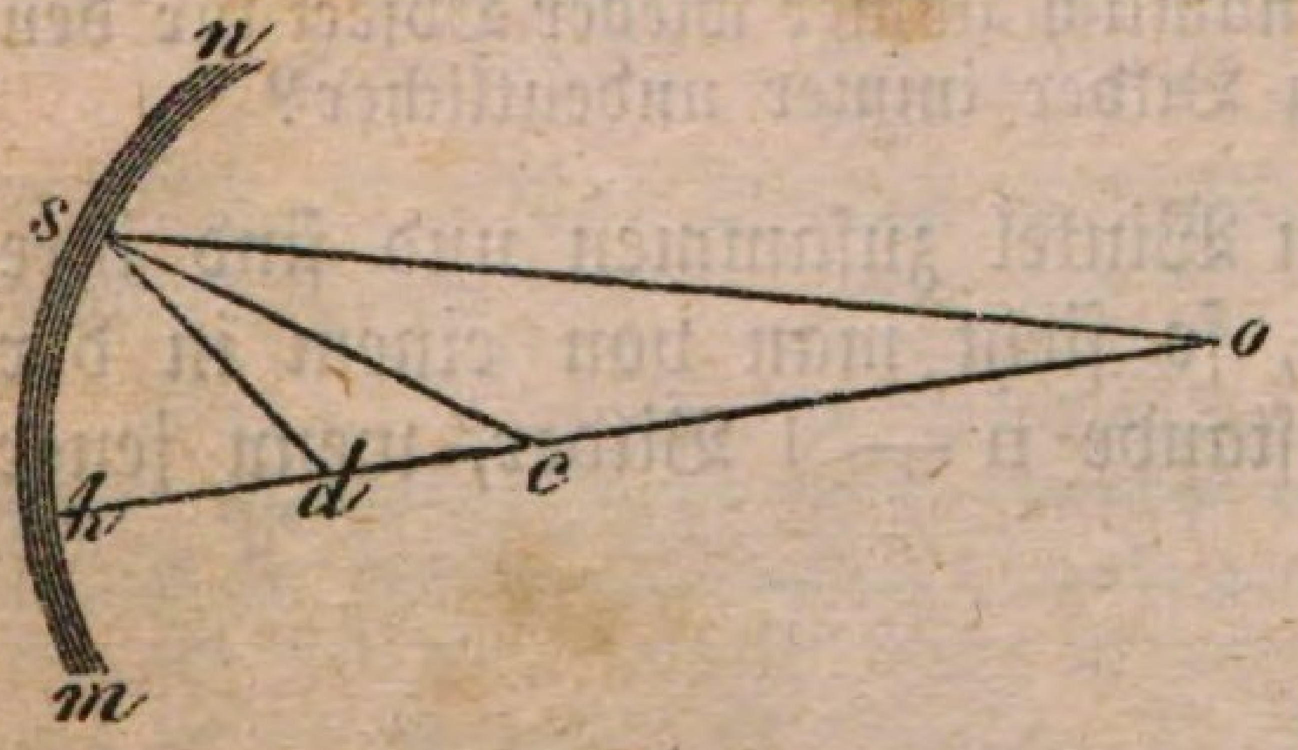
Erklärung. Ein sphärischer Spiegel ist ein spiegelnder Kugelflächen-Abschnitt. Er heißt concav, wenn die innere, convex, wenn die äußere Seite spiegelt. Die Linie, welche den Mittelpunkt des Spiegels mit dem Kugelmittelpunkte verbindet, heißt Achse des Spiegels.

Auch für die sphärischen (überhaupt für alle krummen) Spiegel gilt das in § 87 entwickelte Gesetz; denn man kann sich die krumme Fläche als aus unendlich vielen kleinen Ebenen zusammengesetzt denken. Für jeden Punkt des sphärischen Spiegels ist der Kugelradius das Einfallsloth und also für jeden leuchtenden Punkt der durch den Kugelmittelpunkt gehende Strahl der Hauptstrahl.

§ 89. Der sphärische Hohlspiegel erzeugt auch Bilder.

§ 89. Der sphärische Hohlspiegel. 1) Der sphärische Hohlspiegel wirft wie der Planspiegel die von einem leuchtenden Punkte ausgehenden Strahlen so zurück, daß sie alle den Hauptstrahl schneiden.

Fig. 126.



Beweis. (Fig. 126.) mn sei der Spiegel, c der Kugelmittelpunkt, o ein leuchtender Punkt, oh sein Hauptstrahl, os ein beliebiger anderer Strahl, sd der reflectirte Strahl, oh und os liegen in einerlei Ebene. In derselben Ebene liegt auch sc, und da nun sd mit sc und so in gleicher Ebene liegt, so liegt auch sd mit oh in einerlei Ebene ꝛc.

Aber sie schneiden ihn nicht alle in ein und demselben Punkte. Einen solchen gemeinschaftlichen Einschnittspunkt haben nur immer die-

jenigen Strahlen, welche gleiche Winkel mit dem Hauptstrahle bilden, also in einem Kreise auf den Spiegel fallen, dessen Mittelpunkt der Einfallspunkt des Hauptstrahls ist.

Läßt sich leicht beweisen.

Die Entfernung dieses gemeinschaftlichen Einschnittspunktes vom Spiegel hängt, wie leicht ersichtlich, ab: Erstens von der Entfernung des leuchtenden Punktes vom Spiegel, zweitens der Größe des Kugelradius und drittens der sphärischen Entfernung des Einfallspunktes der Strahlen von dem des Hauptstrahls.

Formel für den Ort der Bilder.

Ist diese dritte Größe so klein, daß man die Länge der Strahlen gleich der des Hauptstrahles setzen kann, und das ist der Fall, wenn sie 4—5° nicht überschreitet, so gilt für die Entfernung des Einschnittspunktes der reflectirten Strahlen in den Hauptstrahl folgende Gleichung:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = \frac{1}{p},$$

wo a die Entfernung des leuchtenden Punktes, α die Entfernung des Einschnittspunktes vom Spiegel und p den halben Kugelradius bedeutet.

Entwickelung. (Siehe Fig. 126.) mn sei der Spiegel, o ein leuchtender Punkt, oh sein Hauptstrahl, os ein beliebiger anderer Strahl, cs das Einfallsloth für diesen, sd der reflectirte Strahl. Da $\angle$ osc = $\angle$ csd, so ist

$$\frac{os}{sd} = \frac{oc}{cd}.$$

Setzt man nun oh = a, ch = r und dh = α, und liegt s so nahe an h, daß man os = oh = a und ds = dh = α setzen kann, so geht obige Gleichung in folgende über:

$$\frac{a}{\alpha} = \frac{a-r}{r-\alpha}, \text{ d. i. } ar - a\alpha = a\alpha - \alpha r, \text{ d. i. } ar + \alpha r = 2a\alpha,$$

d. i. (durch $a\alpha r$ dividirt) $\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{2}{r}$ (und r = 2p gesetzt):

$$\frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a} = \frac{1}{p} \text{ oder } \alpha = \frac{ap}{a-p}.$$

Haben nun a und p einen bestimmten Werth, so hat auch α einen bestimmten Werth. Daraus folgt, daß alle Strahlen eines leuchtenden Punktes, welche nicht weiter als 4—5° vom Hauptstrahle auf den Spiegel fallen, einen gemeinschaftlichen Einschnittspunkt in den Hauptstrahl haben. Sie erzeugen demnach in diesem Punkte ein Bild des leuchtenden Punktes.

Aus dieser Formel lassen sich nun folgende Gesetze entwickeln:

Ortsbestimmung der Bilder durch die Formel.

a. Von einem leuchtenden Punkte, der sich in unendlicher Entfernung vor dem Spiegel befindet, entsteht ein Bild in der Hälfte des Radius vor dem Spiegel.

Dividire Zähler und Nenner durch a, wodurch die Gleichung die Form $\alpha = \frac{p}{1 - \frac{p}{a}}$ annimmt, und setze dann $a = \infty$, so ist $\alpha = p$.

Erklärung. Der Punkt der Achse, dessen Abstand vom Spiegel gleich dem halben Radius ist, heißt **Brennpunkt**, und der halbe Radius die **Brennweite** des Spiegels.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis in den Kugelmittelpunkt, so geht das Bild vom Brennpunkte bis in den Kugelmittelpunkt.

Denn fällt der Werth der Größe a von ∞ bis 2p, so wächst die Größe $\frac{p}{1 - \frac{p}{a}}$ von p bis zu 2p.

c. Rückt der leuchtende Punkt vom Kugelmittelpunkte bis in den Brennpunkt, so geht das Bild vom Kugelmittelpunkte bis in unendliche Entfernung.

Denn verkleinert sich a von 2p bis zu p, so wächst der Bruch $\frac{p}{a}$ von $1/2$ bis 1, also wächst die Größe $\frac{p}{1 - \frac{p}{a}}$ von 2p bis ∞.

d. Bewegt sich der leuchtende Punkt vom Brennpunkte bis an den Spiegel, so ist das Bild hinter dem Spiegel und kommt aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel.

Denn sobald $a < p$ wird, wird $\frac{p}{1 - \frac{p}{a}}$ negativ, und zwar schreitet der Ausdruck von $-\infty$ bis o fort, wenn a von p bis o fällt.

Fig. 127.

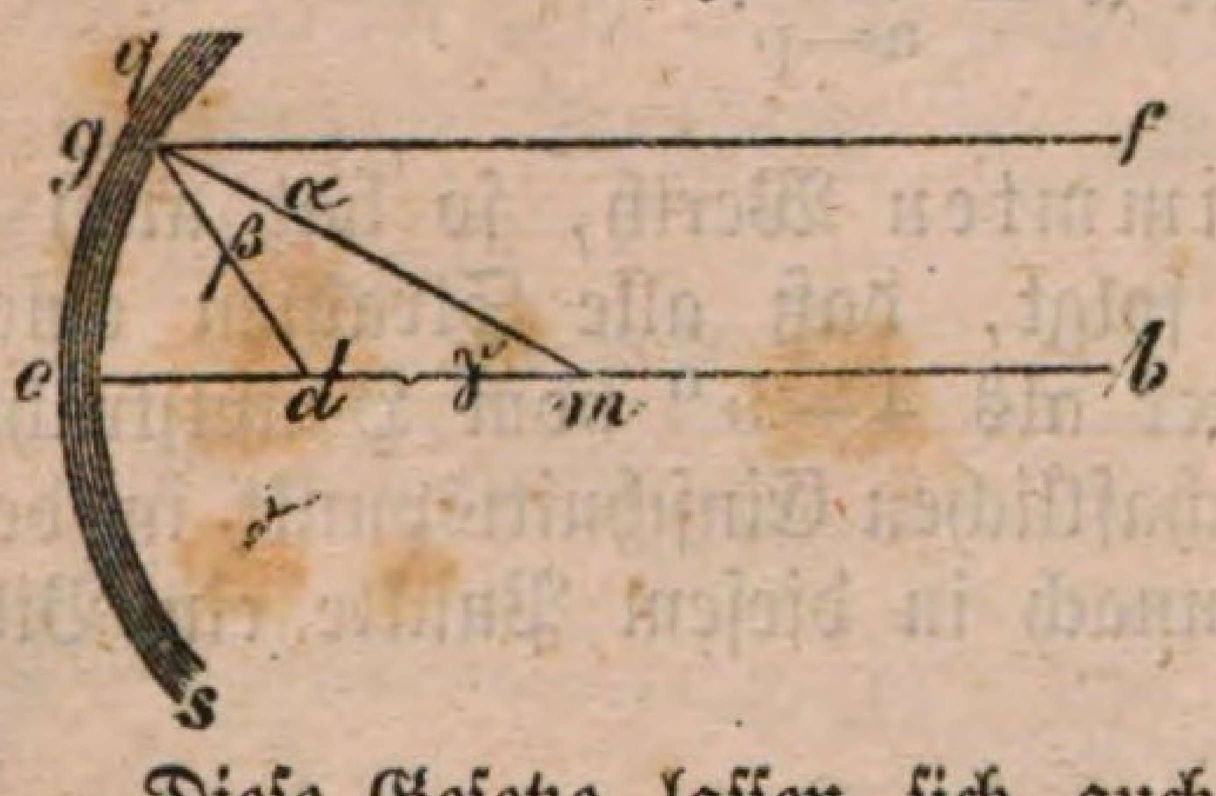
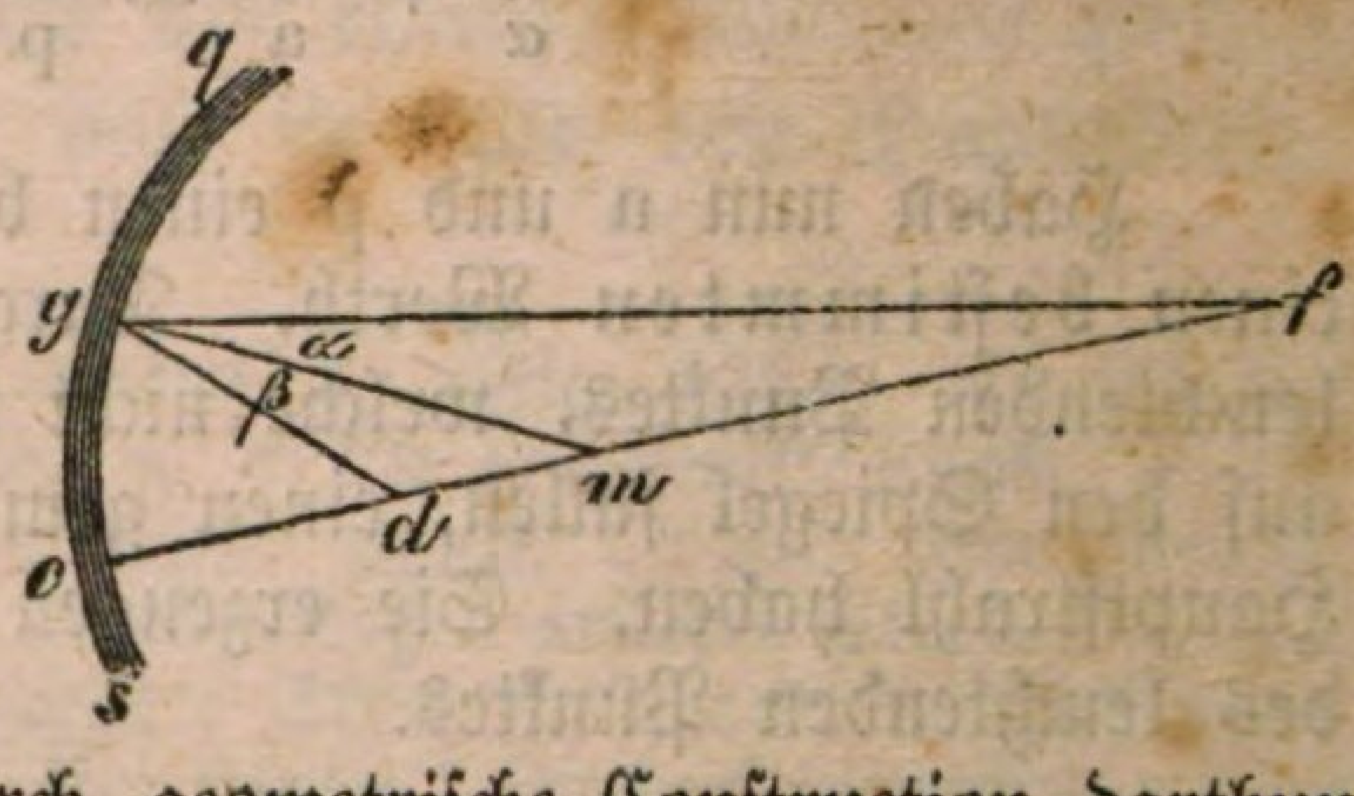


Fig. 128.



Ortsbestimmung der Bilder durch Construction.

Diese Gesetze lassen sich auch durch geometrische Construction darthun, z. B. (Fig. 127): Der leuchtende Punkt liege in unendlicher Entfernung, bc sei die Richtung seines Hauptstrahles, fg die eines beliebigen nahe bei c einfallenden Strahles, gd der reflectirte Strahl, so ist $\angle \alpha = \beta = \gamma$; folglich $dm = dg$, und da g nahe an c liegt, so ist $dg = cd$, also $dm = dc$.

Rückt der leuchtende Punkt in endliche Entfernung, etwa (Fig. 128) bis f, so wird $\angle \alpha$ kleiner, also auch β kleiner, folglich rückt d auf m los.

In gleicher Weise läßt sich der Ort des Bildes für die übrigen Entfernungen des leuchtenden Punktes bestimmen.

Für die unter Nr. d angeführten Entfernungen des leuchtenden Punktes schneiden sich die reflectirten Strahlen nicht selbst, sondern man erhält erst einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt, wenn man sie rückwärts verlängert. Das Auge sieht aber, wenn es von den reflectirten Strahlen getroffen wird, ein Bild, weil die Strahlen so in dasselbe gelangen, als ob sie von jenem Durchschnittspunkte herkämen. Für die unter a, b und c angeführten Entfernungen schneiden sich die reflectirten Strahlen selbst.

Erklärung. Ein Bild, welches durch wirkliche Vereinigung der Lichtstrahlen entsteht, nennt man ein physisches; ein Bild, welches durch Lichtstrahlen entsteht, die nur scheinbar einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt haben, ein geometrisches.

Das physische Bild kann durch einen Schirm aufgefangen werden, das geometrische nicht.

Die Bilder, die ein Planspiegel von davorstehenden Gegenständen erzeugt, sind geometrische Bilder.

Durch jene Formel läßt sich auch von einem ganzen Objecte der Ort, die Größe und die Stellung des Bildes finden, indem man durch sie den Ort der äußersten Punkte des Bildes bestimmt, zwischen denen dann die übrigen liegen müssen. Man erhält dadurch folgende Gesetze:

Größe und Stellung der vom Hohlspiegel erzeugten Bilder.

a. Von einem Objecte in unendlicher Entfernung befindet sich das Bild im Brennpunkte und ist unendlich klein.

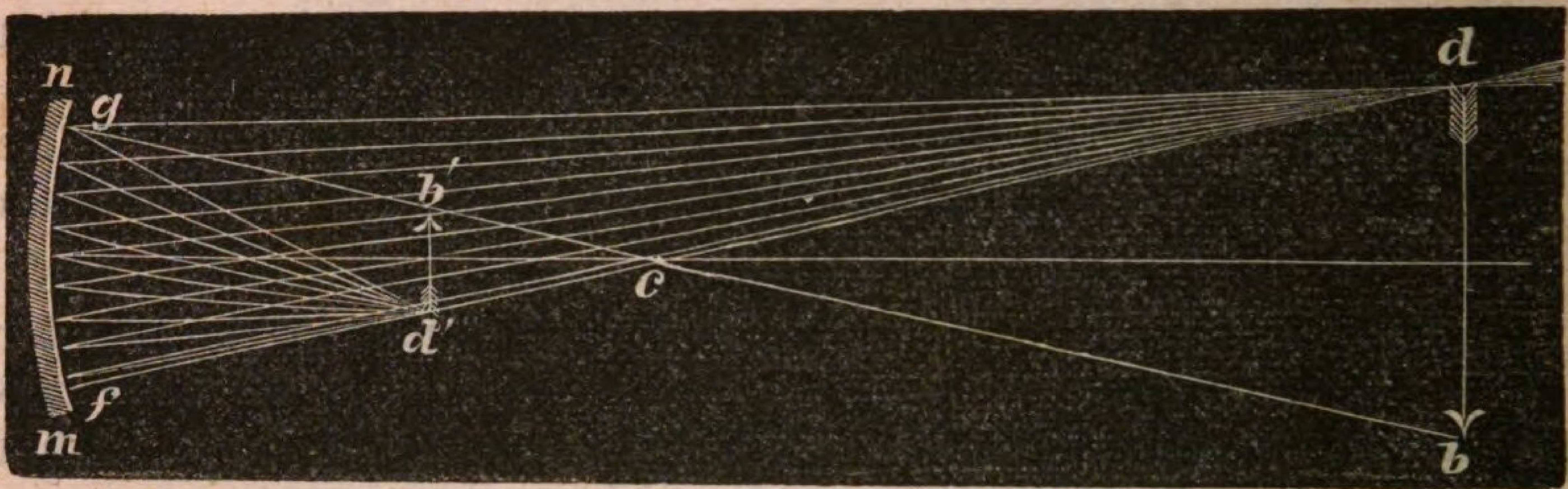
Für einen endlich großen Gegenstand, der sich in unendlicher Entfernung vor dem Spiegel befindet, fallen die Hauptstrahlen der äußersten Punkte in eine gerade Linie zusammen, denn der Winkel, den sie am Kugelmittelpunkte bilden, ist gleich Null, folglich müssen auch ihre Bilder, da sie beide um $\frac{1}{2}$ r vom Spiegel entfernt sind, in einem Punkte zusammenfallen.

b. Rückt das Object aus unendlicher Entfernung bis in den Brennpunkt, so bewegt sich das Bild aus dem Brennpunkte bis in unendliche Entfernung, ist umgekehrt, und wächst bis zu unendlicher Größe. So lange die Entfernung des Objects größer als r ist, so lange ist das Bild kleiner, liegt die Entfernung des Objects zwischen r und $\frac{1}{2}$r, ist das Bild größer, als das Object. Im Kugelmittelpunkte treffen Object und Bild zusammen und sind von gleicher Größe.

db sei (Fig. 129) ein Object vor dem Spiegel mn, df der Hauptstrahl des Punktes d, bg der des Punktes b, so liegt das Bild von d etwa in d′, das von b in b′. Das Bild ist demnach umgekehrt.

Es ist ferner $\frac{db}{d'b'} = \frac{dc}{d'c}$. Es läßt sich nun beweisen, daß, so lange das Object weiter als 2p von dem Spiegel sich befindet, in jedem Falle $d'c < dc$.

Fig. 129.



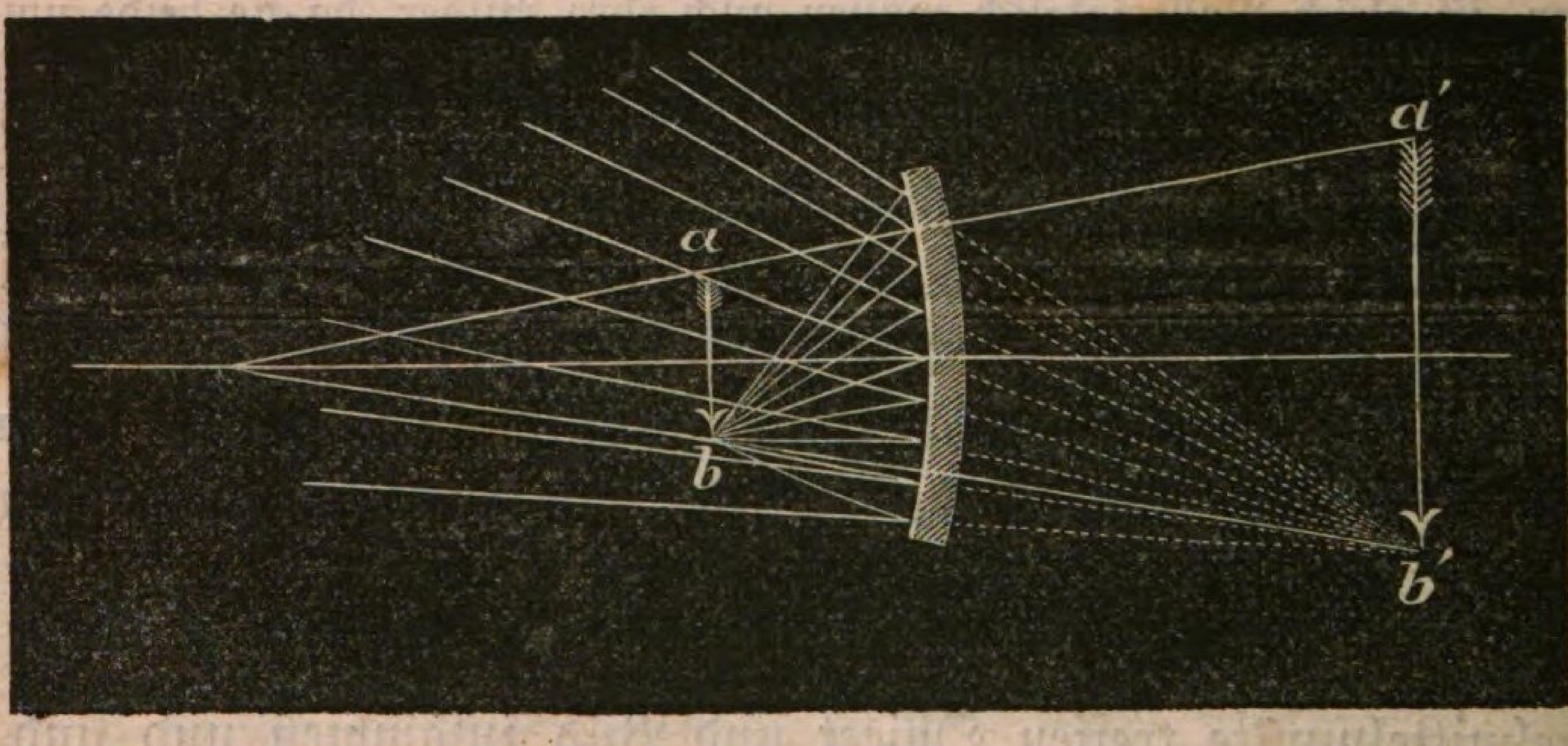
Denn $dc = a - 2p$; $d'c = 2p - \alpha$, folglich, da $\alpha = \frac{ap}{a-p}$, so ist $d'c = 2p - \frac{ap}{a-p} = \frac{2ap-2p^2-ap}{a-p} = \frac{ap-2p^2}{a-p} = \frac{p(a-2p)}{a-p}$.

Da nun für unseren Fall $a > 2p$, so ist $a-p > p$, folglich $\frac{p}{a-p} < 1$, daher $\frac{p(a-2p)}{a-p} < a-2p$, d. i. $d'c < dc$ und daher $d'b' < db$.

Ebenso läßt sich beweisen, daß, wenn das Object zwischen c und p liegt, das Bild größer ist als das Object.

c. Während das Object von dem Brennpunkte bis an den Spiegel rückt, befindet sich das Bild hinter dem Spiegel, ist aufrecht und nimmt an Größe ab, von unendlicher Größe bis zur Größe des Objects.

Fig. 130.



(Fig. 130.) ab sei das Object, so liegt das Bild von a in dem Hauptstrahle, etwa in a', das Bild von b in b' u. s. w.

Die Richtigkeit der hier theoretisch entwickelten Gesetze läßt sich durch den Versuch im dunkeln Zimmer nachweisen, indem man als Object eine Lichtflamme nimmt und die Bilder auf einem weißen Schirme aufhängt.

Will man dabei deutliche Bilder erhalten, so muß der Spiegel so weit bedeckt werden, daß nur ein Kugelabschnitt von 8—10 Grad sphärischen Durchmessers offen bleibt. Warum? Die Bilder werden desto deutlicher, je größer der Kugelradius ist. Warum? Wie groß ist das Bild eines h Meter hohen Gegenstandes, welcher sich a Meter weit vor dem Spiegel befindet, wenn dessen Radius = r Meter ist. Bilde Beispiele in bestimmten Zahlen.

Während beim sphärischen Hohlspiegel von den Strahlen, welche vom Brennpunkte ausgehen, nur diejenigen parallel der Achse reflectirt werden, welche nahe an dieser einfallen, und auch diese nur beinahe parallel, wirft der parabolische Spiegel alle vom Brennpunkte auf den Spiegel fallenden Strahlen genau parallel der Achse zurück.

Die Hohlspiegel werden zu Blickfeuern auf Leuchtthürmen angewendet. Die Blickfeuer bestehen nämlich aus einer sehr hellen Flamme, welche im Brennpunkte eines parabolischen Hohlspiegels steht und mit diesem durch ein Uhrwerk um eine verticale Achse gedreht wird. Die auf den Spiegel fallenden Strahlen werden parallel der Achse zurückgeworfen und können daher auf weit größere Entfernung gesehen werden, als die von der Flamme direct, also divergirend, ausgehenden Strahlen. Da sie aber nur gesehen werden, wenn das Auge sich in dem cylindrischen Raume befindet, welchen sie einnehmen, so ist die erwähnte Drehung nöthig, welche die Strahlen nach und nach auf alle Punkte der Meeresfläche bringt. Aus der dem Schiffer bekannten verschiedenen Umdrehungszeit der verschiedenen Leuchtthürme ist derselbe im Stande, diese von einander zu unterscheiden. Auch in den Laternen der Locomotiven steht die Flamme im Brennpunkte eines solchen Hohlspiegels. Andere Anwendungen werden wir später kennen lernen.

§ 90. Der sphärische Convexspiegel. Die Untersuchung, wo der Convexspiegel das Bild eines leuchtenden Punktes erzeugt, welche Größe und Stellung das von einem ganzen Objecte erzeugte Bild hat, ist ganz in derselben Weise zu führen, wie beim Concavspiegel. § 90. Der sphärische Convexspiegel.

Die Formel für den Ort des Bildes eines leuchtenden Punktes erhält man, wenn man in die für den Concavspiegel gefundene Formel statt p, — p setzt, weil hier der Radius die entgegengesetzte Richtung hat. Sie heißt

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha} = -\frac{1}{p}.$$

Vermittelst dieser Formel läßt sich ganz in derselben Weise, wie beim Hohlspiegel, das für den Convexspiegel geltende Gesetz entwickeln:

Wenn das Object aus unendlicher Entfernung bis an den Spiegel rückt, so bewegt sich das Bild von dem negativen Brennpunkte (d. i. der Punkt, der um $\frac{1}{2}$r hinter dem Spiegel liegt) bis an den Spiegel, bleibt stets aufrecht und wächst von unendlich kleiner Größe bis zur Größe des Objects.

Alle Bilder, welche der Convexspiegel erzeugt, sind geometrische.

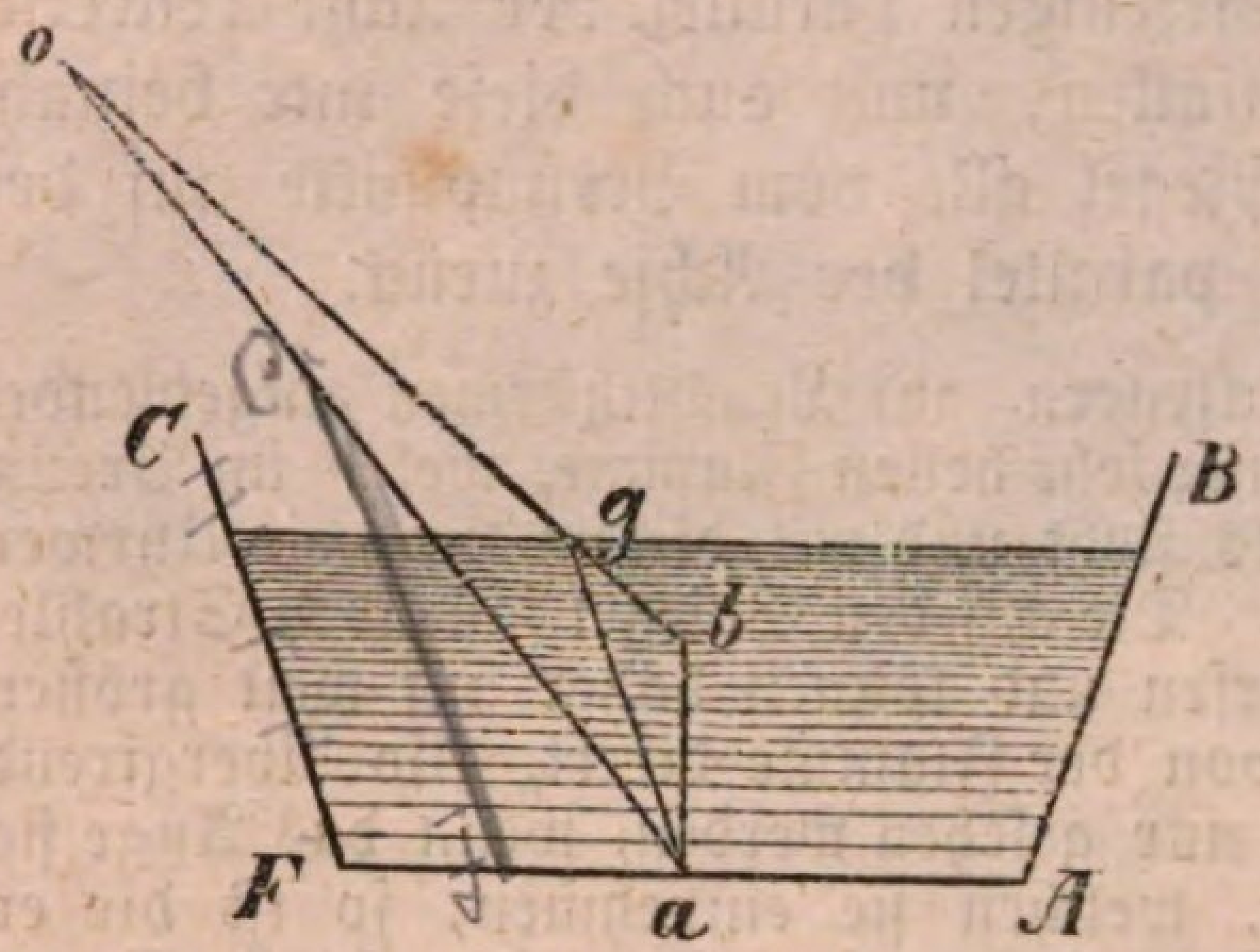
D. Dioptrik,

d. i. die Lehre von der Brechung (Refraction) des Lichtes.

§ 91. Erscheinung der Lichtbrechung.

§ 91. Nimmt man ein Gefäß ABCF [Fig. 131] (etwa eine Tasse), auf dessen Boden sich ein hervorstehender Punkt a (etwa ein eingebranntes Körnchen oder ein mit Oelfarbe gemalter Punkt) befindet und stellt sich so, daß der Punkt a dem Auge o so eben unter dem Rande des Gefäßes verschwindet, und man gießt Wasser hinein, so wird das Pünktchen wieder sichtbar und erscheint etwa in b. Die von a ausgehenden Lichtstrahlen müssen also durch das Wasser eine Ablenkung erlitten haben. Da man nun den Punkt in b sieht, also das Auge o die von a ausgehenden Strahlen in der Richtung bo erhält, so ist man geneigt zu glauben, die Strahlen kommen wirklich vom Punkte b her. Das ist aber nicht möglich, sonst müßten dieselben den Weg abo durchlaufen, und das streitet wider das Gesetz § 84, 2. Es kann also die Ablenkung nur an der Trennungsfläche des Wassers und der Luft, also in g stattfinden. Die Lichtstrahlen müssen demnach den Weg ago durchlaufen.

Fig. 131.

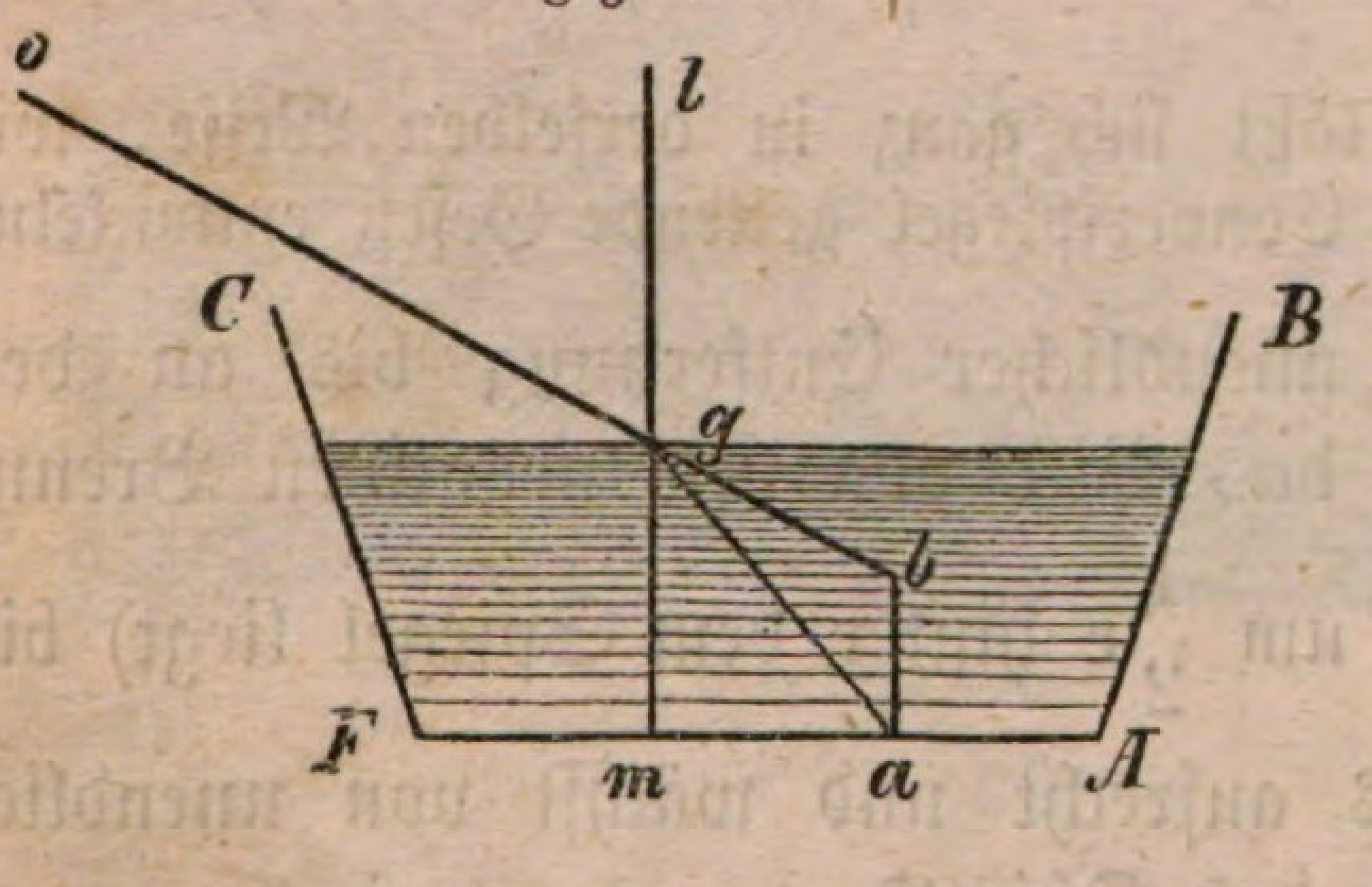


Eine solche Ablenkung der Lichtstrahlen von der geraden Richtung findet so oft statt, als das Licht aus einem dichteren in ein dünneres, oder aus einem dünneren in ein dichteres Mittel übergeht, und heißt **Refraction, Brechung.**

Legt man z. B. einen Glaswürfel oder eine dicke Glasscheibe auf ein beschriebenes Blatt, so erscheint die Schrift, durch die obere Fläche des Würfels oder der Scheibe gesehen, höher. Gewässer, deren Grund man sehen kann, erscheinen weniger tief, als sie es wirklich sind. Fische scheinen der Oberfläche näher zu schwimmen. Ein Stab, in Wasser gehalten, scheint gebrochen.

Folgerungen aus der bei Wasser und Luft beobachteten Brechung.

Fig. 132.



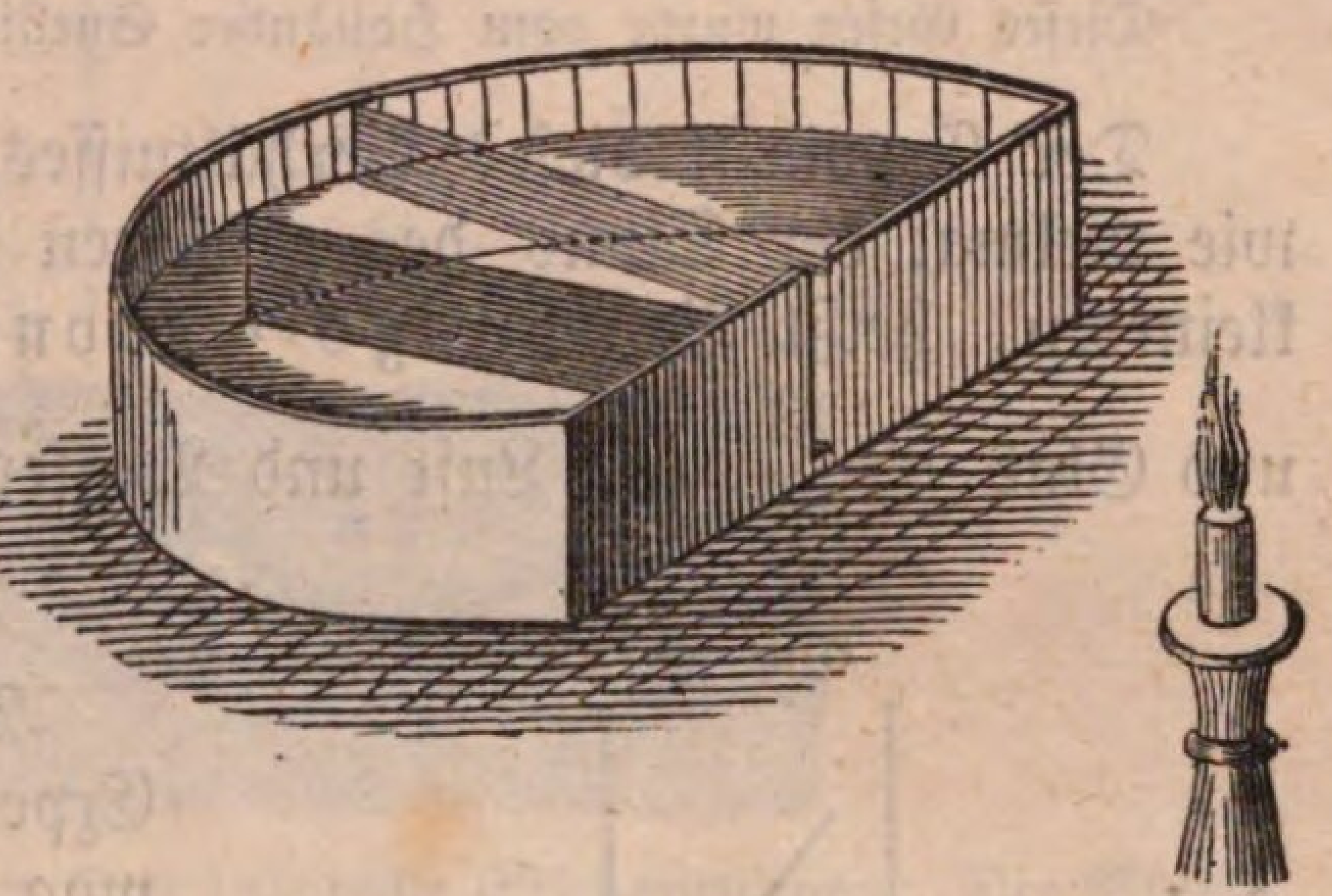
Es fragt sich nun, in welcher Weise hier die Lichtstrahlen von der geraden Richtung abgelenkt werden.

Im Allgemeinen kann man schon aus dem angeführten Versuche erkennen, daß der Lichtstrahl ag (Fig. 132) im Wasser einen kleineren Winkel mit dem Einfallslothe lm macht, als der gebrochene Strahl go in der Luft. Ferner, wenn man das Auge in verticaler Richtung über den Punkt a hält und gießt Wasser in das Gefäß, so scheint der Punkt

auch gehoben zu werden, aber die Richtung, in welcher man denselben sieht, wird nicht geändert; daraus erkennt man, daß der Strahl, welcher die Wasserfläche senkrecht trifft, gar nicht gebrochen wird. Je schräger man gegen die Wasserfläche sieht, desto höher erscheint das Bild b. Daraus geht hervor, daß die von a ausgehenden Strahlen nicht so gebrochen werden, daß sie sich, rückwärts verlängert, alle in einem Punkte treffen u. s. w.

Erklärung. Derjenige Strahl eines leuchtenden Punktes, welcher die Trennungsfläche zweier Mittel senkrecht trifft und also ungebrochen durchgeht, heißt Hauptstrahl des Punktes.

Fig. 133.



Wie kann man die Brechungsgesetze finden.

Genauer kann man die Gesetze der Brechung vermittelst der durch Fig. 133 dargestellten Vorrichtung kennen lernen. Sie besteht in einem 5 Centimeter hohen Blechgefäße, welches die Gestalt eines halben senkrechten Cylinders hat. Die krumme Seitenfläche ist auf der Innenseite mit einer Gradtheilung versehen, deren Nullpunkt in der Mitte der Seitenfläche liegt. Die gerade Seitenwand, die genau auf dem Durchmesser der Cylinder-Grundfläche steht, besteht aus einem Glasstreifen, der mit Papier beklebt oder gefirnißt ist, mit Ausnahme eines schmalen senkrechten Streifens in der Mitte. Füllt man dieses Gefäß zur Hälfte mit Wasser und stellt vor die gerade Seitenwand eine Lichtflamme so, daß der durch den offen gelassenen Spalt gehende Lichtstreifen schräg in das Gefäß fällt, so trifft der durch das Wasser gehende Theil des Lichtstreifens eine andere Stelle der Gradtheilung, als der, welcher über dem Wasser durch die Luft geht; und da nun die von dem Spalte nach dem Nullpunkte der Theilung gehende Linie das Einfallsloth ist, so kann man an der Gradtheilung ablesen, wie groß die Winkel sind, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe bilden. Stellt man die Lichtflamme senkrecht vor den Spalt, so daß der Lichtstreifen über dem Wasser den Nullpunkt der Theilung trifft, so trifft auch der durch das Wasser gehende Theil des Lichtstreifens den Nullpunkt. Durch dergleichen und andere Versuche hat man folgende Gesetze für die Refraction gefunden:

Gesetze der Lichtbrechung.

1) Der einfallende und der gebrochene Strahl liegen mit dem Einfallslothe in einerlei Ebene, also in einer Ebene, welche senkrecht auf der Trennungsfläche der beiden Mittel steht.

2) Im Allgemeinen bildet der Lichtstrahl in dem dünnern Mittel einen größern Winkel mit dem Einfallslothe, als in dem dichtern,

mag er aus dem dünnern Mittel in das dichtere oder aus dem dichteren in das dünnere übergehen.

Einige Substanzen machen jedoch hiervon eine Ausnahme.

Erklärung. Die beiden Winkel, welche der einfallende und der gebrochene Strahl mit dem Einfallslothe bilden, heißen Einfalls- und Brechungswinkel.

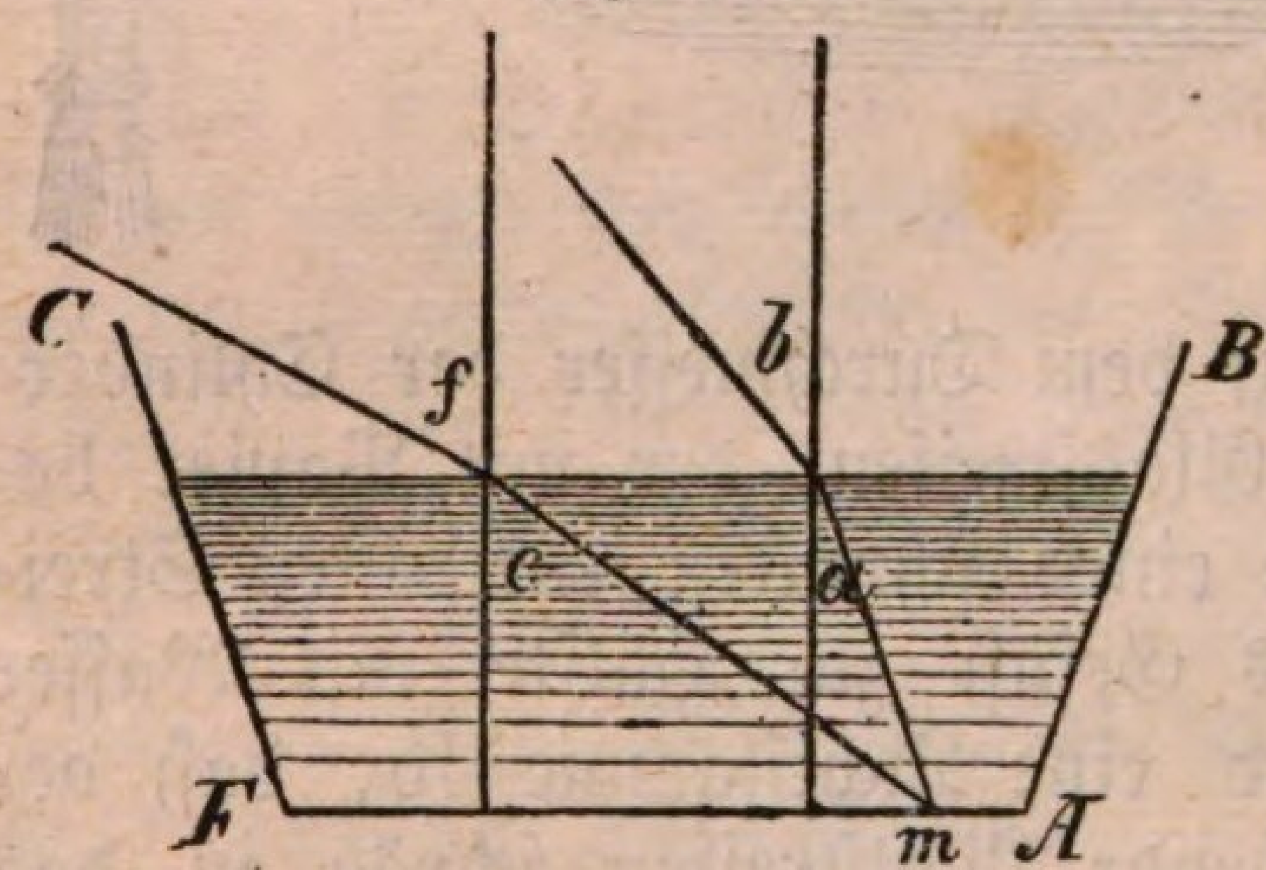
3) Der Sinus der Winkel, welche der Lichtstrahl im dünneren und im dichteren Mittel mit dem Einfallsloth bildet, haben bei denselben zwei Mitteln ein constantes Verhältniß.

Dieses Gesetz wurde vom Holländer Snellius um das Jahr 1625 entdeckt.

Brechungs-Exponent.

Der Exponent dieses Verhältnisses, d. h. die Zahl, welche angiebt, wie vielmal der Sinus des größeren Winkels größer ist, als der des kleineren, heißt Brechungs-Exponent. Dieser ist z. B. für Luft und Glas $= \frac{3}{2}$, für Luft und Wasser $= \frac{4}{3}$.

Fig. 134.



Die Zahlen, welche den Brechungs-Exponenten bilden, bleiben dieselben, mag das Licht aus dem dünneren in das dichtere Mittel übergehen, oder aus dem dichteren in das dünnere, nur daß im ersteren Falle die größere Zahl, im anderen die kleinere als Zähler steht.

ABCF (Fig. 134) sei ein Gefäß mit Wasser, m ein leuchtender Punkt, mb und mf zwei von ihm ausgehende Lichtstrahlen, so ist: $\frac{\sin b}{\sin a} = \frac{\sin f}{\sin c} = \frac{4}{3}$.

Hieraus folgt:

a. Strahlen, welche die Trennungsfläche der beiden Mittel senkrecht treffen, gehen ungebrochen durch.

Uebergang der Brechung in Reflexion.

b. Bei dem Uebergange des Lichtes aus einem dichteren Mittel in ein dünneres können diejenigen Strahlen nicht in das dünnere Mittel übergehen, für welche der Sinus des Einfallswinkels $= \frac{1}{n}$ oder größer als $\frac{1}{n}$ ist, wo n den Brechungs-Exponenten der beiden Mittel bezeichnet. Denn in diesem Falle ist der Brechungswinkel ein Rechter.

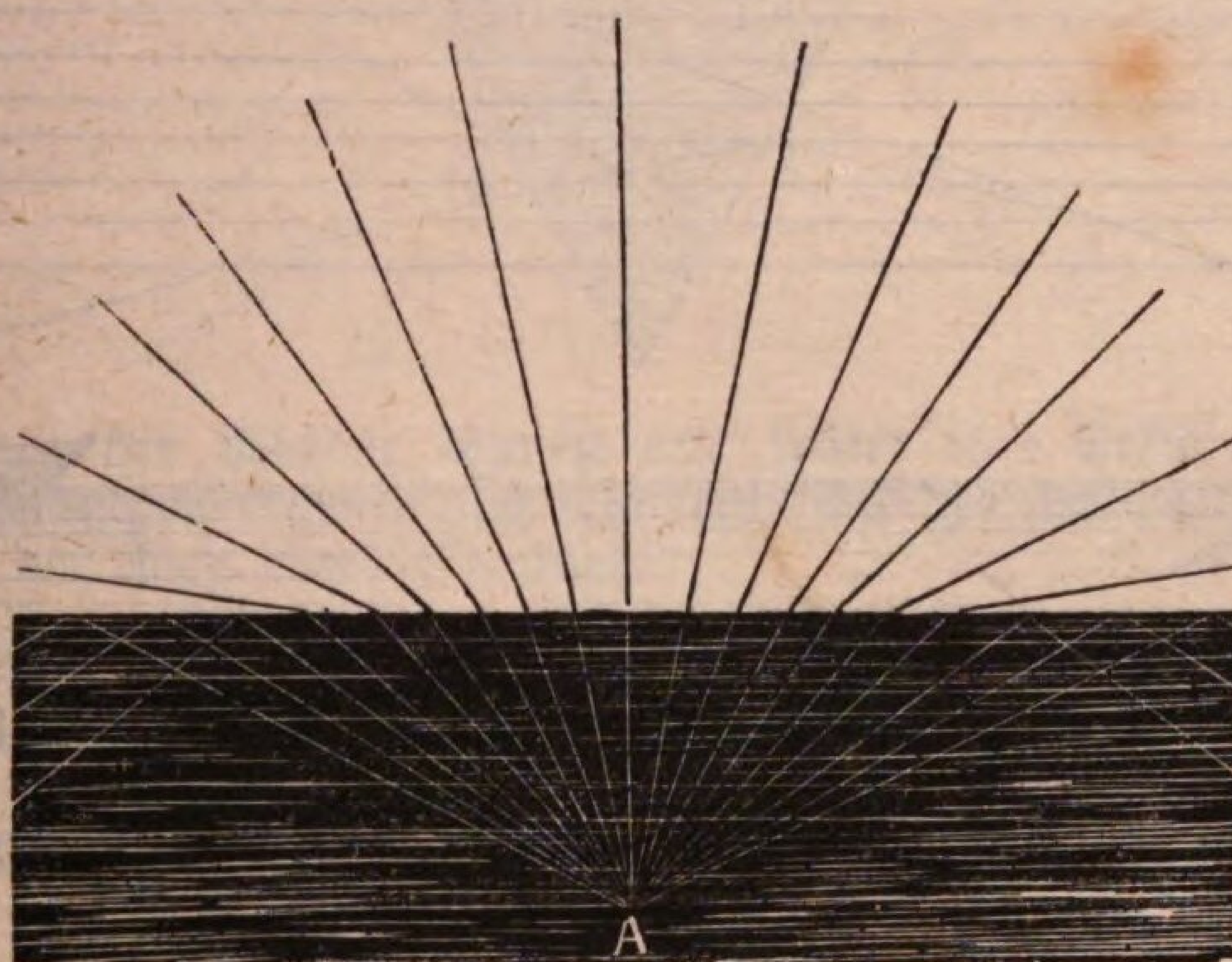
Diese Strahlen erleiden an der Trennungsfläche eine vollständige Reflexion. (Siehe Fig. 135.)

Grenzwinkel.

Erklärung. Der Winkel, dessen Sinus $= \frac{1}{n}$ ist, heißt **Grenzwinkel.**

Z. B. für Luft und Wasser ist der Grenzwinkel derjenige, dessen Sinus $= \frac{3}{4}$ ist, d. i. $48^0\ 35'$.

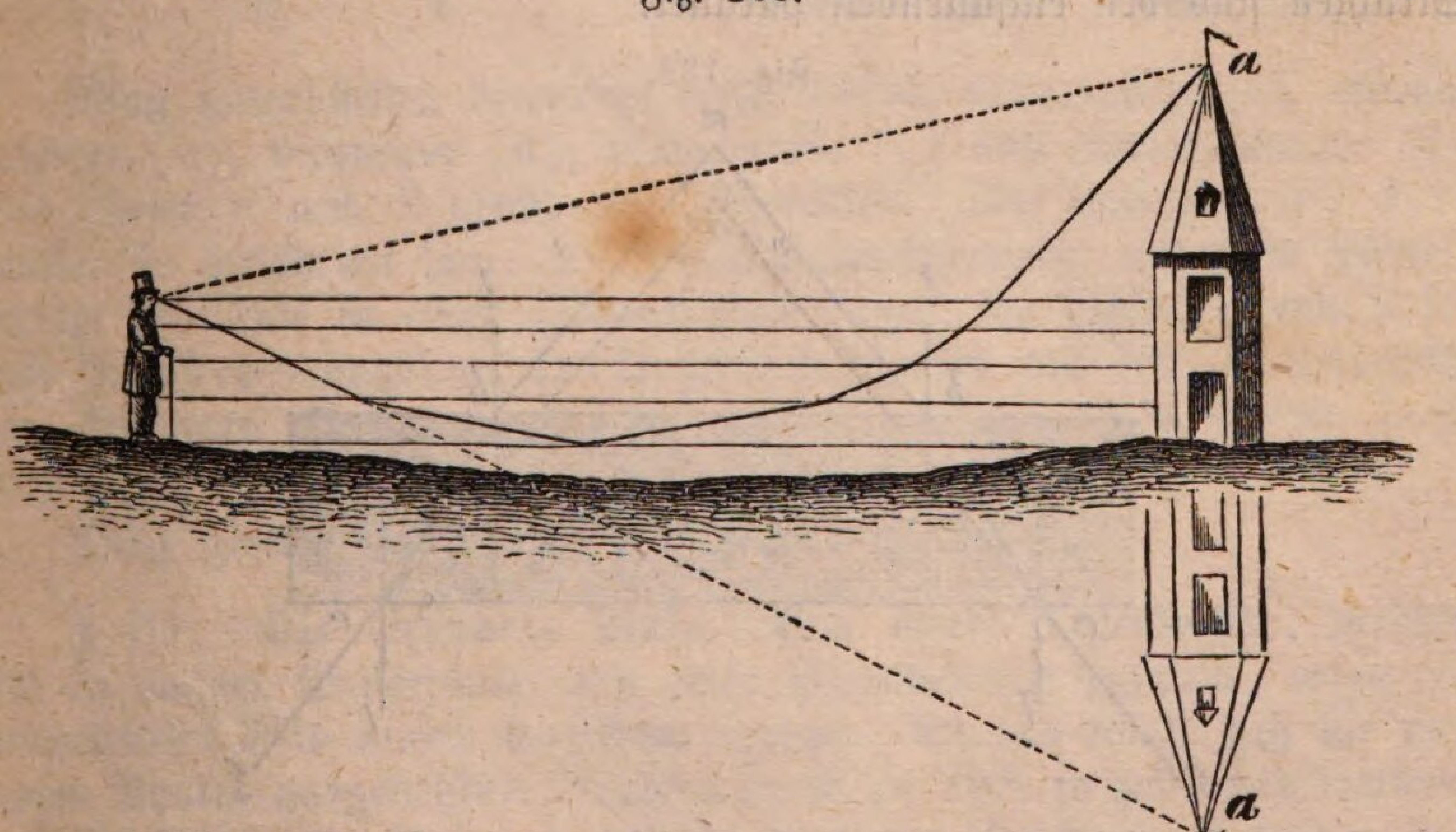
Fig. 135.



Brechungs-Erscheinungen.

Auf der Brechung des Lichtes beruhen folgende Erscheinungen: Die Sterne gehen früher auf, als sie wirklich über den Horizont kommen, und sind noch einige Zeit sichtbar, wenn sie schon unter dem Horizonte sind. Sieht man über ein von der Sonne erwärmtes Dach oder einen Kalkofen oder eine Lichtflamme hinweg, so scheinen die dahinterliegenden Gegenstände sich zu bewegen.

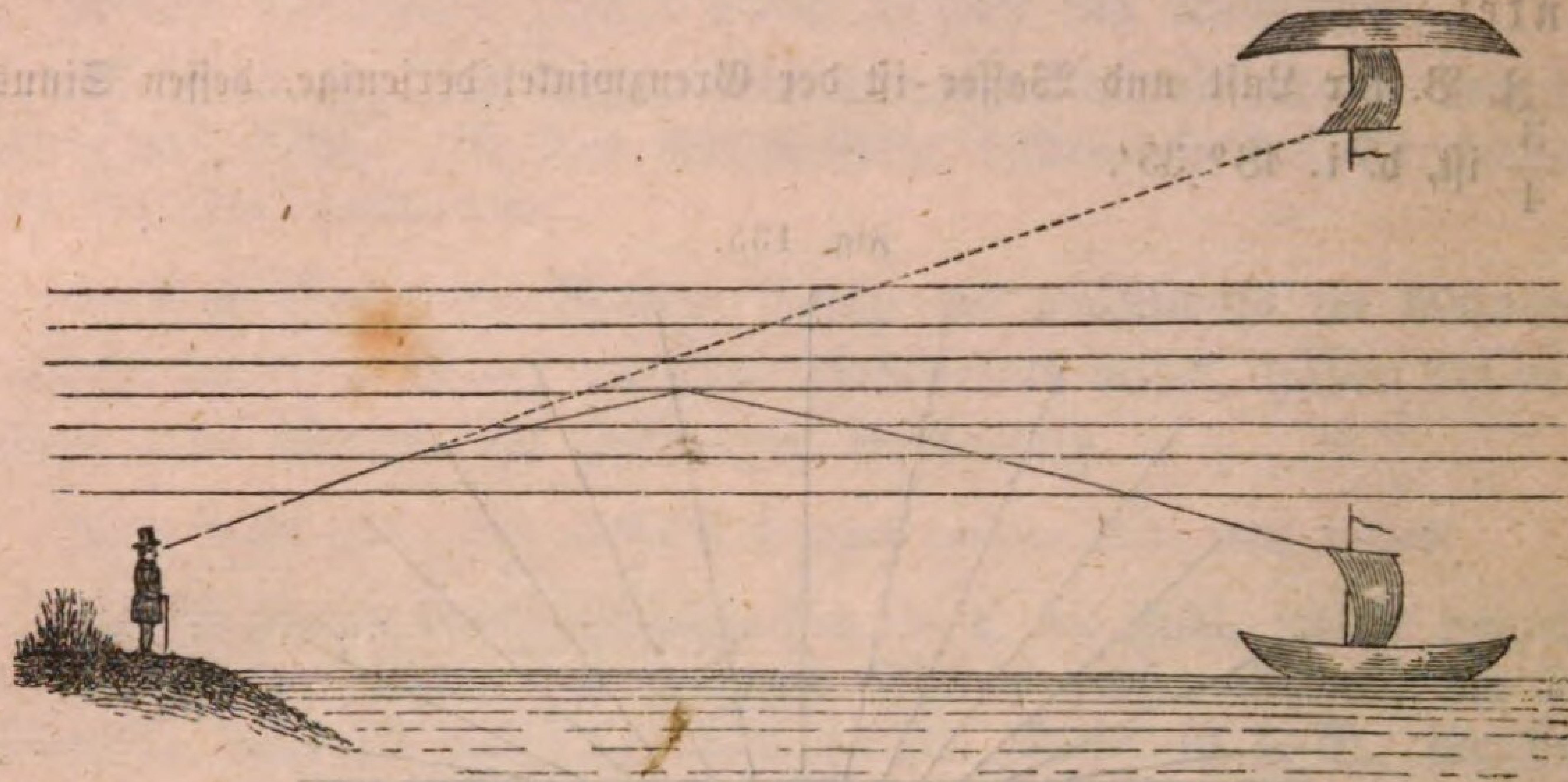
Fig. 136.



Die Luftspiegelung, wobei ein umgekehrtes Bild über den Gegenständen erscheint, wenn die oberen Luftschichten dünner, als die unteren, unter den Gegenständen, wenn die unteren dünner sind, als die oberen. (Fig. 136 und 137.) Die Strahlen bilden, indem sie in dünnere Luftschichten übergehen,

einen immer größeren Winkel mit dem Einfallslothe, erreichen endlich den Grenzwinkel und nun geht die Brechung in Reflexion über. — Die Fata

Fig. 137.



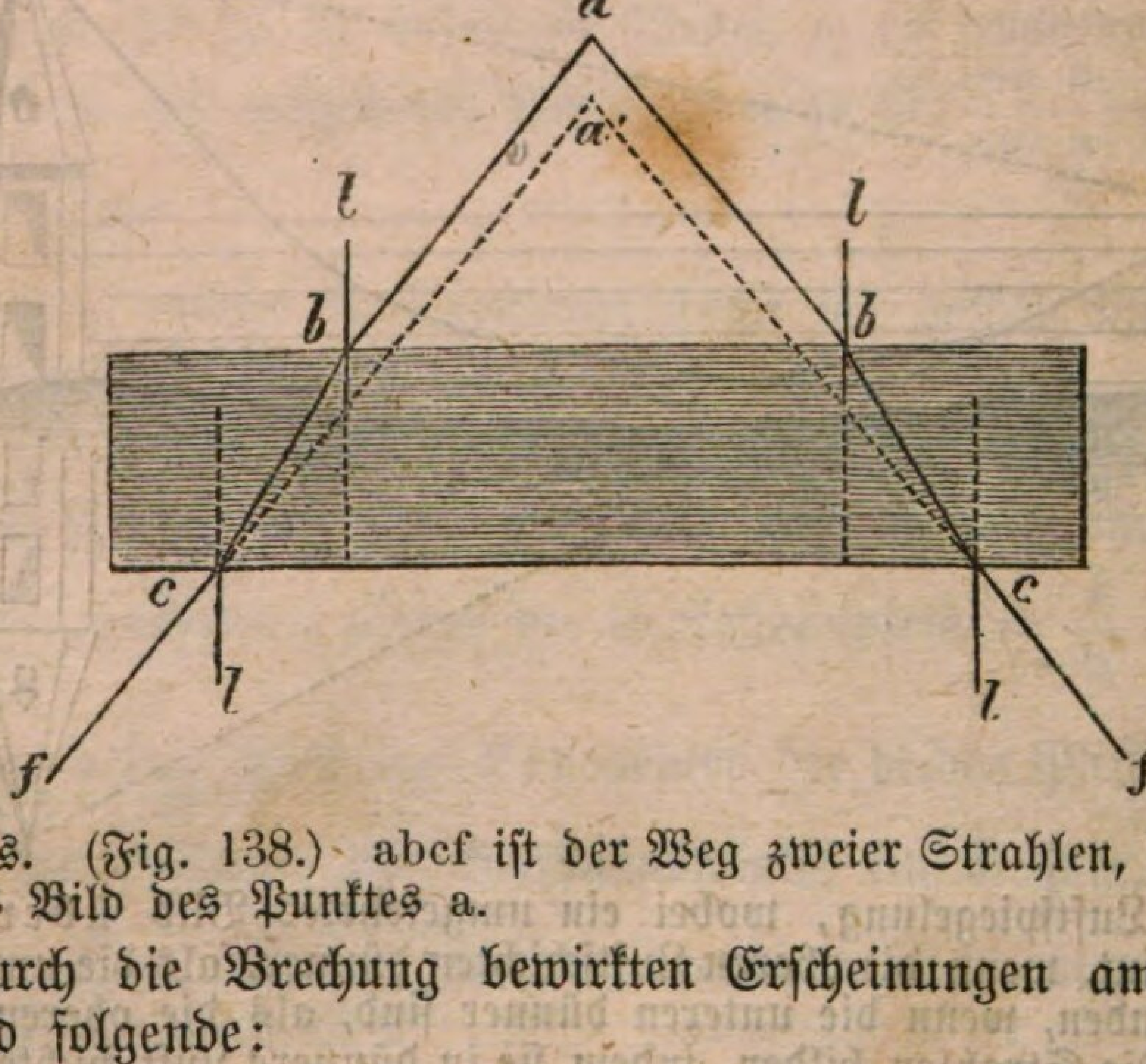
Morgana an der Meerenge von Sicilien. — In der Wüste glaubt man oft eine Wasserfläche zu sehen, indem die Brechung der vom hellen Himmel kommenden Strahlen in der Nähe des heißen Sandbodens in Reflexion übergeht.

Brechung des Lichtes durch Gläser.

§ 92. Brechung durch Gläser mit parallelen Wänden.

§ 92. Durch ein Glas mit parallelen Wänden gesehen, erscheinen die Gegenstände dem Glase näher und daher vergrößert, da jeder Gegenstand desto größer erscheint, je näher er dem Auge liegt. Die Verrückung ist desto geringer, je dünner das Glas ist. Die gebrochenen Strahlen sind den einfallenden parallel.

Fig. 138.

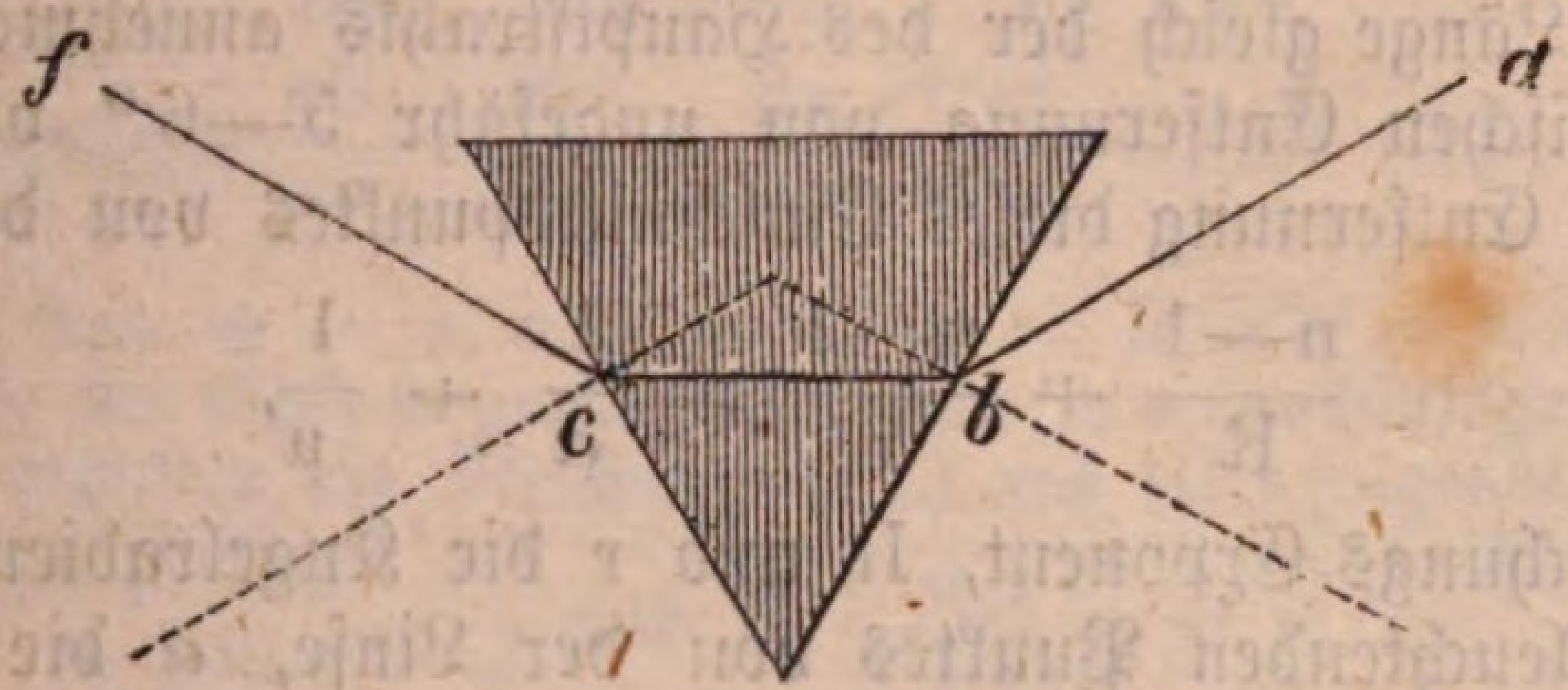


Beweis. (Fig. 138.) abcf ist der Weg zweier Strahlen, l die Einfallslothe, a' das Bild des Punktes a.

Die durch die Brechung bewirkten Erscheinungen am dreiseitigen Prisma sind folgende:

Hält man das Prisma horizontal vor das Auge, so daß die Kante der beiden Flächen, durch welche man sieht, unten liegt, so erscheinen die Gegenstände viel tiefer, mit farbigen Rändern und ihre horizontalen Kanten als Bogen, deren concave Seite nach unten gerichtet ist.

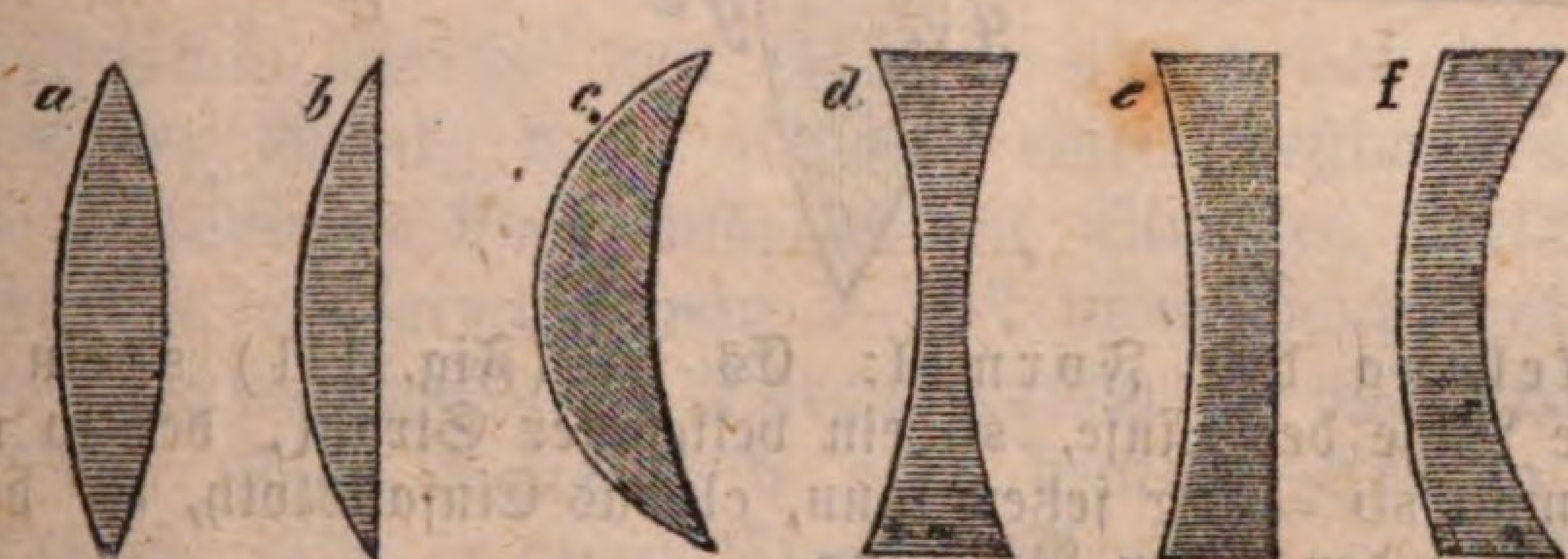
Fig. 139.



Die Farben der Ränder können erst später ihre Erklärung finden; die anderen Erscheinungen ergeben sich sehr leicht aus den Brechungsgesetzen. abcf (Fig. 139) ist der Weg eines Strahles.

§ 93. Erklärung. Gläser, welche von Kugelabschnitten begrenzt werden, nennt man sphärische Linsen. § 93. Sphärische Linsen.

Fig. 140.



Man unterscheidet biconvexe (Fig. 140a), planconvexe (b), concav-convexe (c), biconcave (d), planconcave (e) und convex-concave (f). Die Linsen c und f nennt man Menisken. Die Linsen a, c, d, f müssen so gearbeitet sein, daß die Kugelmittelpunkte mit dem Mittelpunkte der Linse in einer geraden Linie liegen, die Linsen e und b so, daß die Verbindungslinie des Kugelmittelpunktes mit dem Mittelpunkte der krummen Begrenzungsfläche auf der begrenzenden Ebene senkrecht steht.

Diese gerade Linie heißt Achse der Linse.

§ 94. **Die biconvexe Linse.** Von einem Gegenstande, welcher sich in einiger Entfernung von einer Biconvexlinse befindet, wird ein umgekehrtes Bild hinter derselben erzeugt. Daraus folgt, daß die von jedem Punkte ausgehenden Strahlen durch die Linse so gebrochen werden, daß sie sich hinter derselben wieder in einem Punkte vereinigen. Die Gesetze dieser Brechung sind folgende: § 94. Die biconvexe Linse.

1) Die von einem in der Achse liegenden Punkte ausgehenden Strahlen werden so gebrochen, daß sie die Achse schneiden.

2) Alle Strahlen desselben, welche gleich weit von der Achse, also in einem Kreise die Linse treffen, schneiden nach der Brechung in ein und denselben Punkt der Achse ein.

Beide Gesetze sind in ganz ähnlicher Art zu beweisen, wie beim Hohlspiegel.

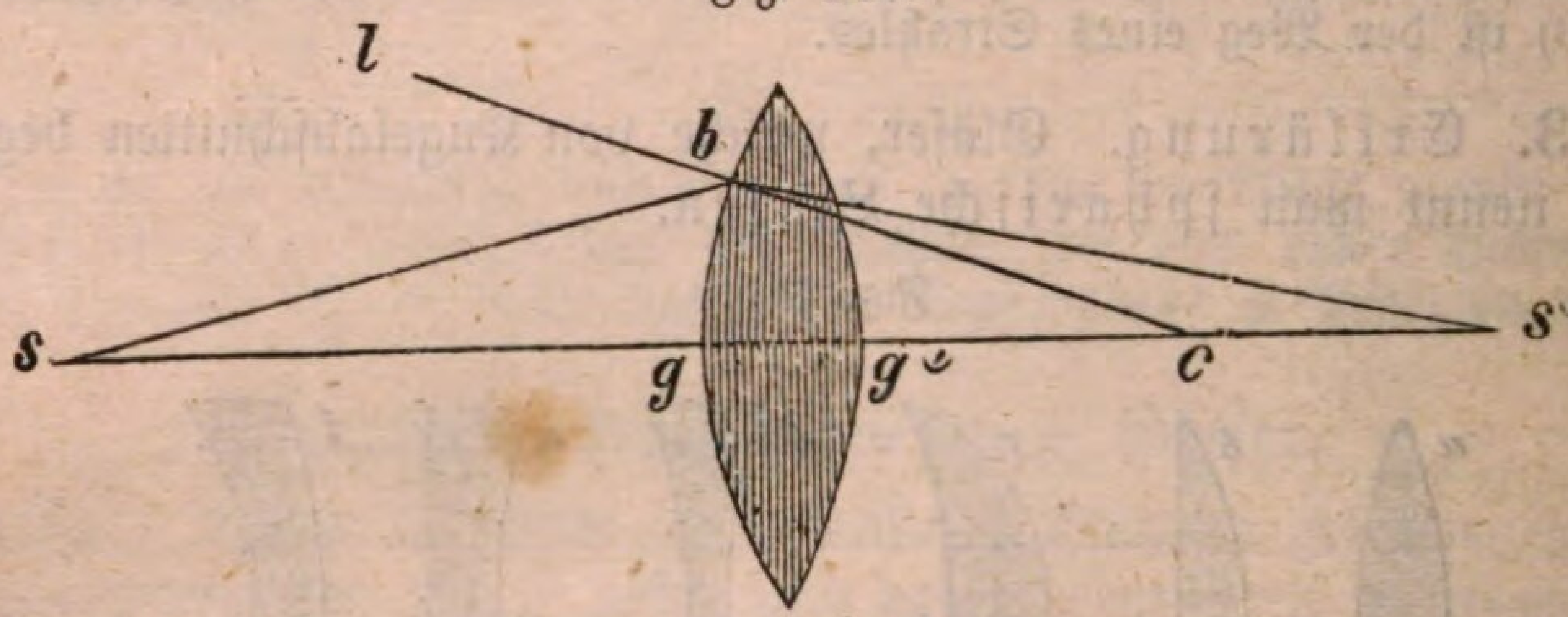
Formel für den Ort der durch die Biconvexlinse erzeugten Bilder von Punkten in der Achse.

3) Für diejenigen Strahlen, die so dicht an der Achse einfallen, daß man ihre Länge gleich der des Hauptstrahls annehmen kann (d. i. in einer sphärischen Entfernung von ungefähr 5—6° von der Achse) erhält man die Entfernung dieses Einschnittspunktes von der Linse durch die Formel:

$$\frac{n-1}{R} + \frac{n-1}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a'},$$

wo n der Brechungs-Exponent, R und r die Kugelradien, a die Entfernung des leuchtenden Punktes von der Linse, α die gesuchte Entfernung des Einschnittspunkes ist.

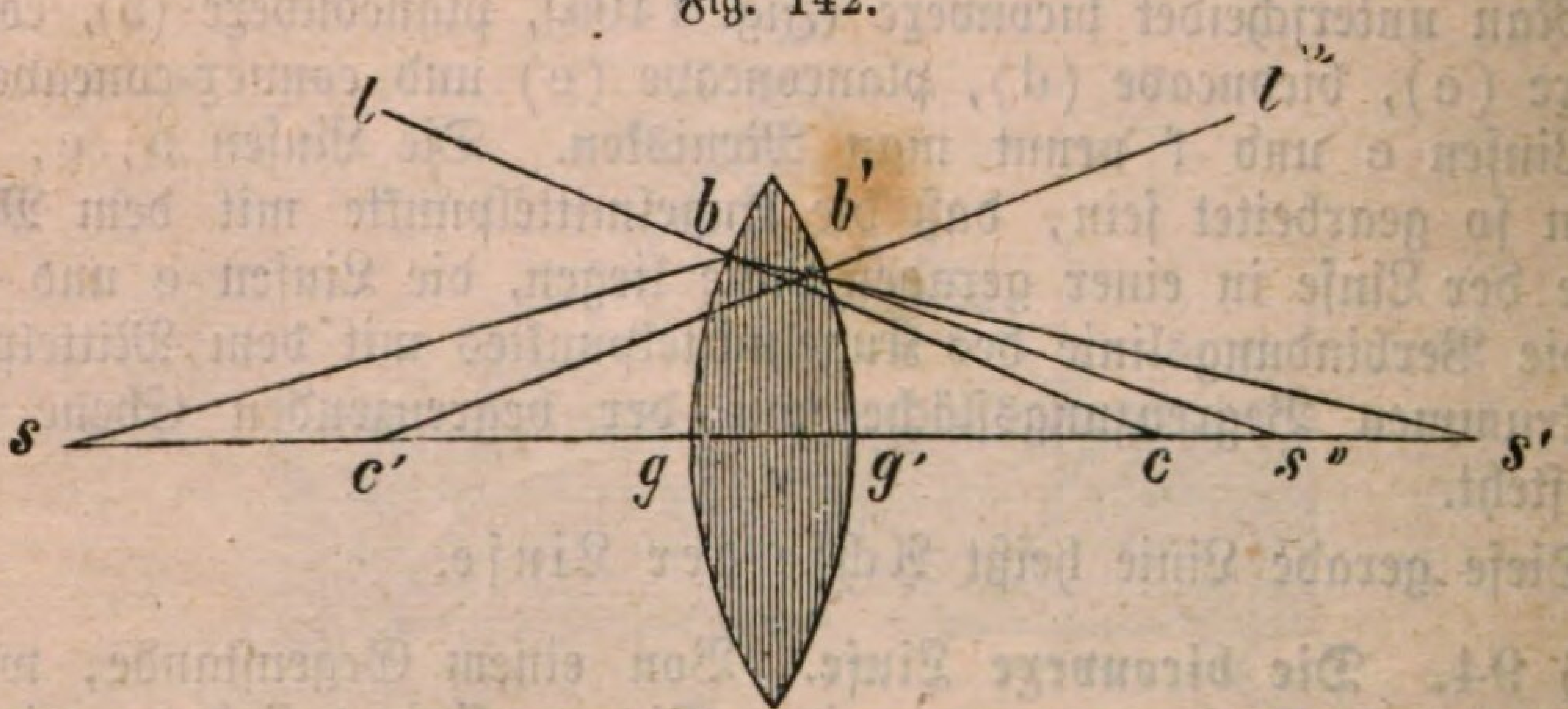
Fig. 141.



Entwickelung derselben.

Entwickelung der Formel: Es sei (Fig. 141) s ein leuchtender Punkt, ss' die Achse der Linse, sb ein beliebiger Strahl, der so nahe an sg einfällt, daß man sb = sg setzen kann, cl das Einfallsloth, bs' die Richtung des Strahles nach der ersten Brechung.

Fig. 142.



$$\left.\begin{aligned} \text{Nun ist } \frac{sb}{sc} &= \frac{\sin bcs}{\sin cbs} = \frac{\sin bcs}{\sin sbl} \\ \text{ferner } \frac{cs'}{bs'} &= \frac{\sin cbs'}{\sin bcs'} = \frac{\sin cbs'}{\sin bcs} \end{aligned}\right\} A.$$

$$\text{folglich } \frac{sb \cdot cs'}{sc \cdot bs'} = \frac{\sin bcs \cdot \sin cbs'}{\sin sbl \cdot \sin bcs} = \frac{\sin cbs'}{\sin sbl} = \frac{1}{n} \quad (I.)$$

wenn n der Brechungs-Exponent ist.

Es sei ferner (Fig. 142) l'c' das Einfallsloth für den gebrochenen Strahl bb', b's'' die Richtung des Strahles nach der zweiten Brechung,

$$\left.\begin{array}{l} \text{dann ist } \dfrac{s'b'}{s'c'} = \dfrac{\sin b'c's'}{\sin c'b's'} = \dfrac{\sin b'c's''}{\sin c'b'b}, \\ \dfrac{c's''}{b's''} = \dfrac{\sin c'b's''}{\sin b'c's''} = \dfrac{\sin l'b's''}{\sin b'c's''} \end{array}\right\} \text{B.*)}$$

$$\text{folglich } \frac{s'b' \cdot c's''}{s'c' \cdot b's''} = \frac{\sin l'b's''}{\sin c'b'b} = n. \quad \text{(II.)}$$

Setzt man nun $sg = a$, $s''g' = \alpha$, $cb = R$, $c'b' = r$, $s'b' = s'g' = f$ und ist die Dicke der Linse so gering, daß man sie vernachlässigen, also $gg' = o$ setzen kann, so erhalten die Gleichungen (I.) und (II.) folgende Form:

$$\text{I. } \frac{a\,(f-R)}{(a+R)\,f} = \frac{1}{n} \quad \text{und II. } \frac{f\,(\alpha+r)}{(f+r)\,\alpha} = n.$$

Eliminirt man aus diesen Gleichungen f, so erhält man:

$$\frac{aRn}{an - a - R} = \frac{-\alpha rn}{\alpha n - \alpha - r}$$

$$\text{d. i. } (n-1)a\alpha R + (n-1)a\alpha r = aRr + \alpha Rr,$$

durch $a\alpha Rr$ dividirt, giebt: $\dfrac{n-1}{r} + \dfrac{n-1}{R} = \dfrac{1}{\alpha} + \dfrac{1}{a}$.

Für bestimmte Werthe von n, R, r und a hat hiernach auch α einen bestimmten Werth; d. h. alle von einem bestimmten Punkte der Achse einer bestimmten Linse ausgehenden Strahlen, welche innerhalb einer sphärischen Entfernung von 5—6° vom Hauptstrahle einfallen, haben einen gemeinschaftlichen Durchschnittspunkt und erzeugen daher hier ein Bild. Soll dieses Bild aber deutlich sein, so müssen alle Strahlen, welche nicht in diesen Punkt einschneiden, das sind die, welche in einer größeren Entfernung als 5—6° vom Hauptstrahle einfallen, durch einen Schirm abgehalten, die Linse muß „geblendet" werden. Blendung. Oeffnung der Linse.

Der Kugelabschnitt der Linse, welcher frei bleibt (und dessen Mittelpunktswinkel = 10 — 12°), heißt **Oeffnung der Linse**. Die Oeffnung der Linse ist demnach desto kleiner, je kleiner die Radien sind.

Ist $n = \dfrac{3}{2}$ und $R = r$, so geht die Formel über in:

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{\alpha} + \frac{1}{a}.$$

Aus dieser Formel ergeben sich nun folgende Gesetze:

a. Befindet sich der leuchtende Punkt in unendlicher Entfernung vor der Linse, so erscheint sein Bild in der Entfernung r hinter der Linse. (Brennpunkt, Brennweite.) Ortsbestimmung der Bilder aus der Formel.

*) Die Gleichungen bei B unterscheiden sich von denen bei A nur dadurch, daß jeder Buchstabe einen Strich mehr hat.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis in die Entfernung r, so rückt sein Bild aus r bis in unendliche Entfernung hinter der Linse.

In der Entfernung 2r stehen Punkt und Bild gleich weit von der Linse.

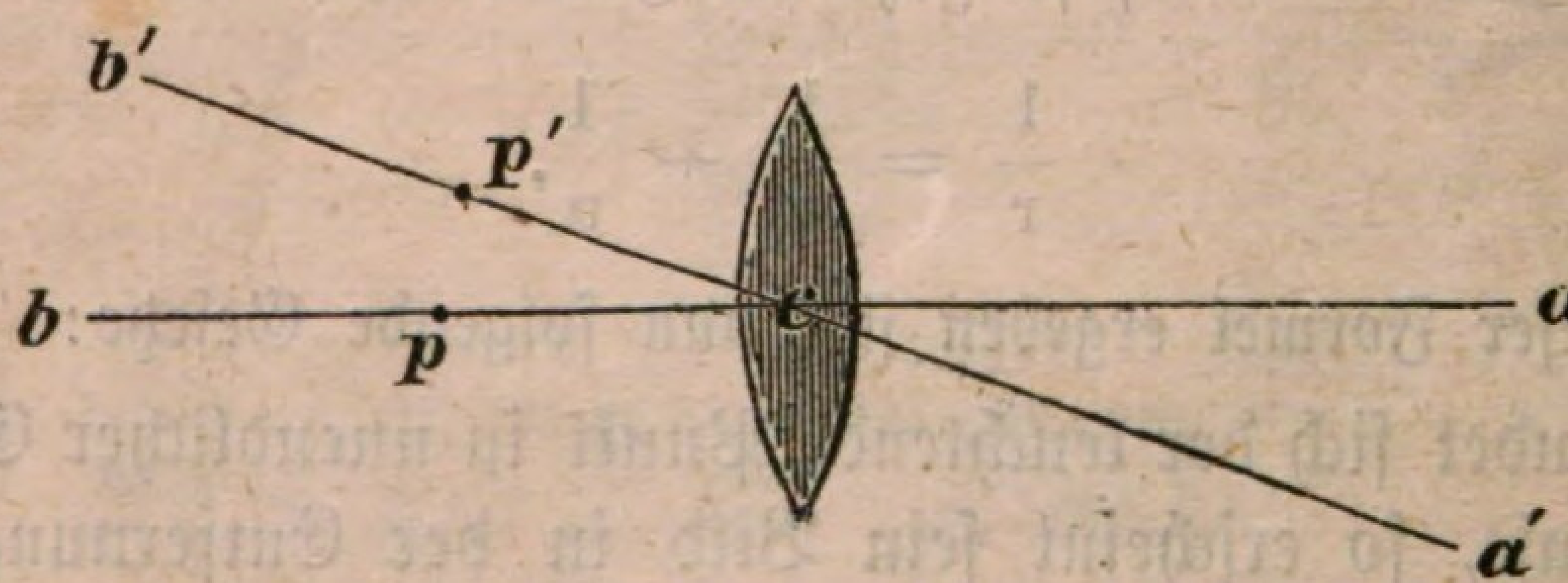
c. Rückt der leuchtende Punkt aus dem Brennpunkte bis an die Linse, so bewegt sich sein Bild aus unendlicher Entfernung vor der Linse bis an die Linse.

Diese Gesetze lassen sich ganz in derselben Weise aus der Formel entwickeln, wie die entsprechenden für den Hohlspiegel; denn die Formel ist ja ganz dieselbe, nur daß, wo dort p stand, hier r steht, und daß hier die positiven Werthe von α die Entfernungen hinter der Linse bedeuten, während sie dort die Entfernungen vor dem Spiegel bedeuteten.

Bilder von Punkten außer der Achse.

Liegt (siehe Fig. 143) ein leuchtender Punkt (a') außerhalb der Achse ab, jedoch so, daß die von ihm nach dem Mittelpunkte der Linse gezogene gerade Linie a'c einen sehr kleinen Winkel, aca', mit der Achse bildet, so steht diese Linie a'b' fast senkrecht auf den beiden Begrenzungsflächen der Linse; man nennt sie daher eine Nebenachse derselben. Da nun diese Nebenachse nahe dieselbe Richtung gegen die Begrenzungsflächen der Linse hat, als die Hauptachse, so müssen auch diejenigen Strahlen des leuchtenden Punktes a', welche nahe an der Nebenachse a'c einfallen, fast dieselbe Richtung gegen die beiden Begrenzungsflächen der Linse haben, als diejenigen Strahlen eines in der Hauptachse liegenden Punktes a, welche nahe an der Hauptachse ab einfallen. Sie müssen daher auch in Beziehung auf diese Nebenachse dieselbe Brechung erleiden, als letztere in Beziehung auf diese Hauptachse; sie müssen daher in der Nebenachse ein Bild des leuchtenden Punktes erzeugen, und für seine Entfernung von der Linse muß die Formel $\frac{1}{r} = \frac{1}{a} + \frac{1}{\alpha}$ gelten.

Fig. 143.



Ist demnach (Fig. 143) p das Bild des Punktes a, und p' das von a', so muß, wenn a'c = ac, auch cp' = cp sein.

Von Punkten, deren Nebenachse mit der Hauptachse einen zu großen Winkel bildet, erhält man kein deutliches Bild.

Hiernach läßt sich nun der Ort, die Größe und die Stellung des Bildes von einem ganzen Objecte finden, indem man den Ort des Bildes seiner äußersten Punkte bestimmt.

Das Verfahren ist ganz dasselbe, wie beim Hohlspiegel.

Es ergeben sich dann folgende Gesetze:

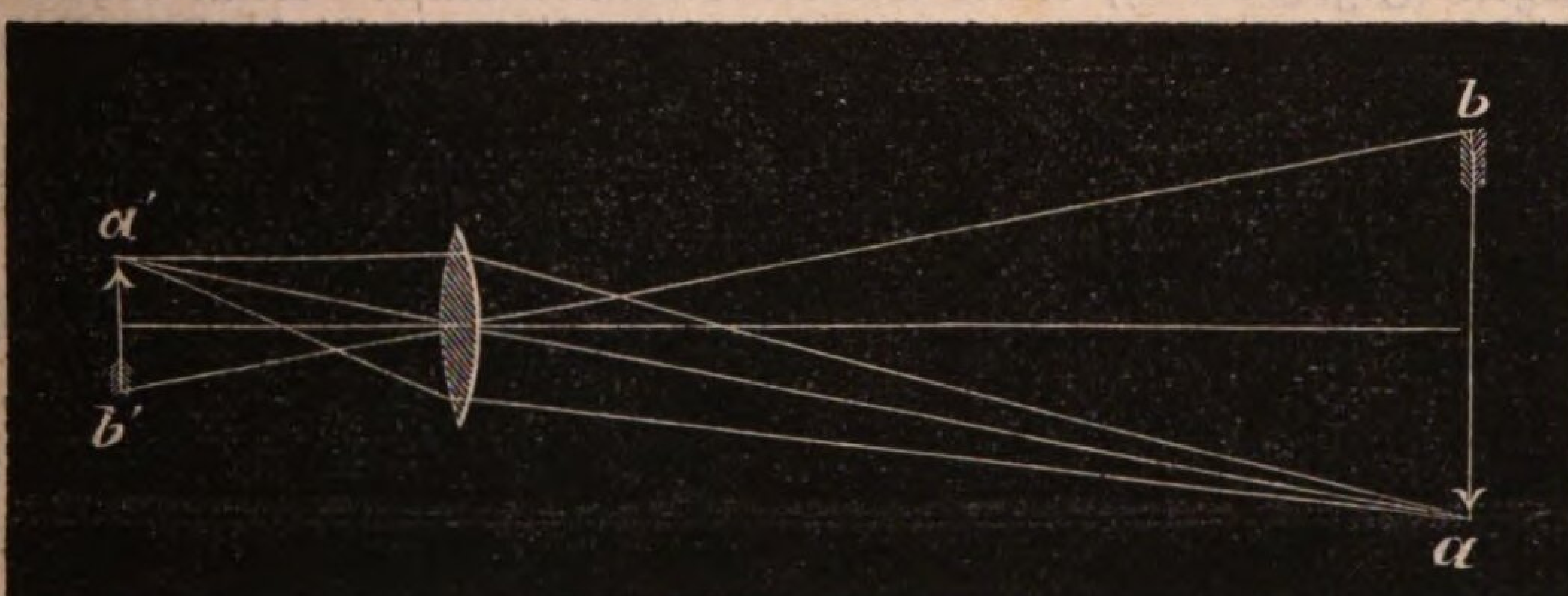
a. Von einem Objecte in unendlicher Entfernung entsteht ein unendlich kleines Bild im Brennpunkte hinter der Linse. Ort, Größe und Stellung der Bilder von ganzen Objecten.

b. Rückt das Object aus unendlicher Entfernung bis in den Brennpunkt, so bewegt sich sein Bild von dem Brennpunkte hinter der Linse bis in unendliche Entfernung, ist umgekehrt und wächst bis zu unendlicher Größe. (S. Fig. 144, wo ab Object oder Bild.)

Beträgt die Entfernung des Objectes 2r, so ist auch die Entfernung des Bildes = 2r und seine Größe ist gleich der des Objects.

c. Rückt das Object vom Brennpunkte bis an die Linse, so geht das Bild aus unendlicher Entfernung vor der Linse bis an die Linse, ist aufrecht, und fällt von unendlicher Größe bis zur Größe des Objectes.

Fig. 144.



Die unter b angeführten Bilder sind physische, die unter c angeführten geometrische.

Erklärung. Der Winkel, welchen die Hauptstrahlen zweier einander gegenüberliegender Grenzpunkte des Objectes noch mit einander bilden können, ohne daß das Bild undeutlich wird, heißt Feld der Linse. Feld der Linse.

Die Formel für die Planconvexlinse erhält man, wenn man in die Formel für die Biconvexlinse $R = \infty$ setzt. Die Planconvexlinse wirkt wie eine Biconvexlinse von doppelt so großem Krümmungshalbmesser. Ebenso wirkt eine Concavconvexlinse, in welcher der Halbmesser der convexen Fläche kleiner (also die Krümmung stärker, als der der concaven ist (Fig. 140 c.), wie eine Convexlinse. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die Formel der Biconvexlinse den Radius der concaven Fläche negativ setzt.

§ 95. Die Biconcav-Linse.

§ 95. Die Biconcav-Linse. Die Formel für die Biconcav-Linse erhält man aus der der Biconvex-Linse, wenn man R und r negativ nimmt.

Die Erscheinungen sind hier folgende:

a. Von einem leuchtenden Punkte in unendlicher Entfernung erscheint das Bild in der Entfernung r vor der Linse.

b. Rückt der leuchtende Punkt aus unendlicher Entfernung bis an die Linse, so geht das Bild vom Brennpunkte bis an die Linse.

Für den Ort des Bildes von einem ganzen Objecte gelten dieselben Gesetze; dabei ist das Bild stets aufrecht und wächst von unendlich kleiner Größe bis zur Größe des Objects.

Alle Bilder der Concav-Linsen sind geometrische.

Die planconcave Linse wirkt wie die biconcave, nur hat sie eine doppelt so große Brennweite, als die Biconcav-Linse von gleichem Krümmungshalbmesser. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die für die letztere $R = \infty$ setzt.

Auch die convex-concave Linse, in welcher der Krümmungshalbmesser der concaven Seite kleiner ist (also die Krümmung stärker, als der der convexen (Fig. 140 f), wirkt wie die Biconcav-Linse. Man erhält für sie die Formel, wenn man in die für die Biconvex-Linse den Radius der concaven Seite negativ annimmt.

Bei allen Arten von Spiegeln und Linsen sind die geometrischen Bilder aufrecht, die physischen umgekehrt.

Da die 3 Arten Convexlinsen parallele Strahlen convergent, divergirende Strahlen convergent oder weniger divergent machen, so nennt man sie Sammel-Linsen. Die 3 Arten der Concav-Linsen heißen Zerstreuungs-Linsen, weil sie parallele Strahlen divergent, divergirende Strahlen noch mehr divergirend machen.

E. Optische Instrumente.

§ 96. Brenn- und Lesegläser, die Camera obscura.

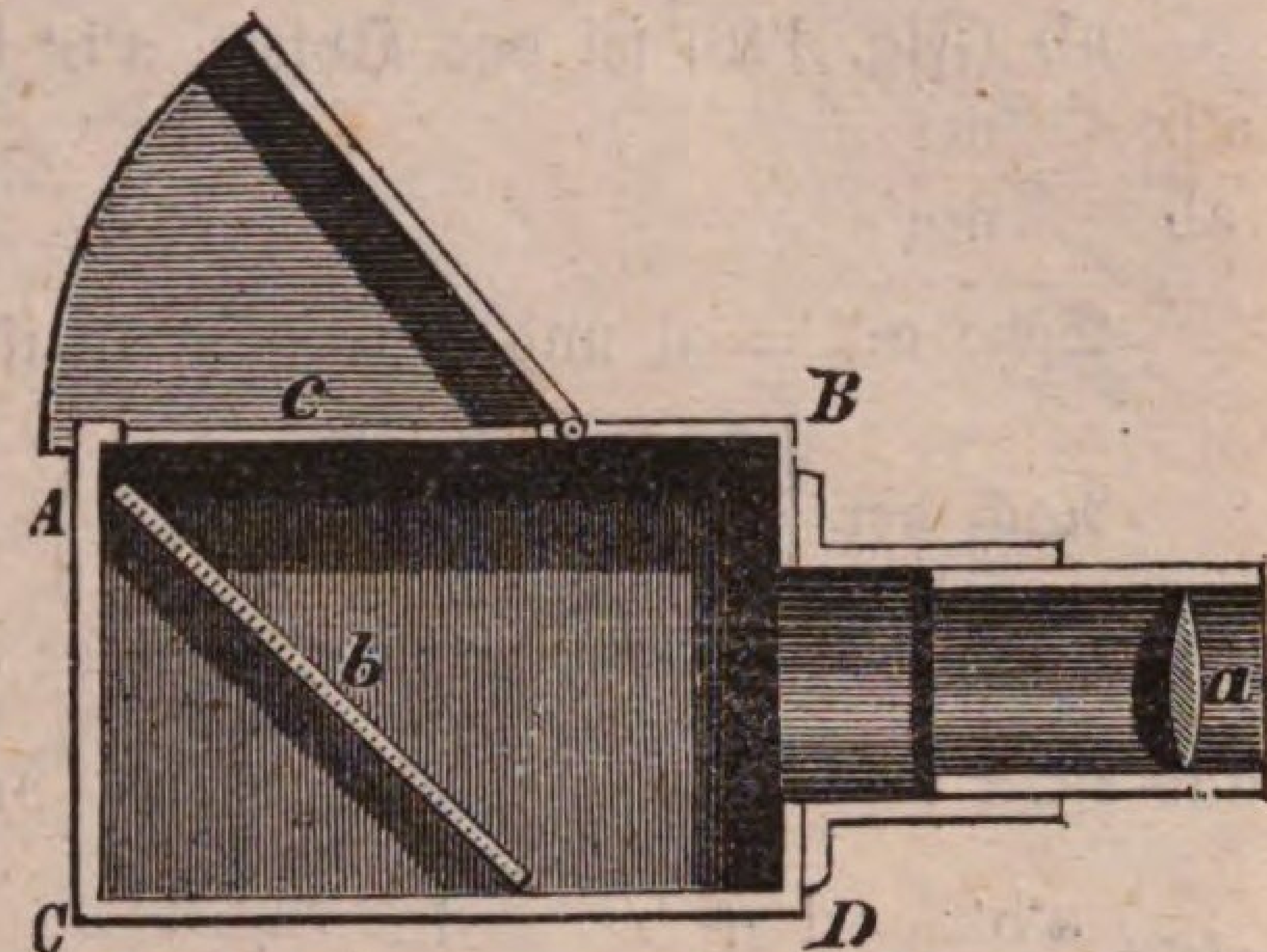
§ 96. 1) Brenngläser, Lesegläser und die in den Guckkästen gebrauchten Gläser sind Convex-Linsen von großer Brennweite. Bei den zwei letzteren befindet sich das Object innerhalb der Brennweite.

2) Die Camera obscura (Fig. 145) ist ein Kasten ABCD, in welchem die durch eine Convex-Linse von großer Brennweite (a) erzeugten Bilder von einem Planspiegel (b) auf eine horizontale, matt geschliffene Glasplatte (c) geworfen werden.

Die Camera obscura dient auch zur Darstellung der Photographien, hat aber dann weder eine Klappe in dem Deckel, noch den Spiegel (b), sondern man fängt die von der Linse erzeugten Bilder auf einer Glas-

tafel auf, welche mit einer von Jodsilber durchdrungenen Collodiumschicht überzogen ist und sich vor der hintern Wand AC in den Kasten einschieben läßt. Nachher begießt man dieselbe mit einer Lösung von schwefelsaurem Eisenoxydul, so schlägt sich an den vom Lichte getroffenen Stellen der Collodiumschicht Silber nieder und macht diese undurchsichtig — negatives Bild —, dann beseitigt man das übrige Jodsilber durch eine Lösung von unterschwefeligsaurem Natron, legt die Platte auf ein mit Chlorsilber präparirtes Papier und setzt dieses dem Tageslichte aus; so schwärzen sich die Stellen, wo das Licht durch die Glastafel dringen kann — positives Bild —, und nun wäscht man das übrige Chlorsilber durch unterschwefeligsaures Natron aus.

Fig. 145.

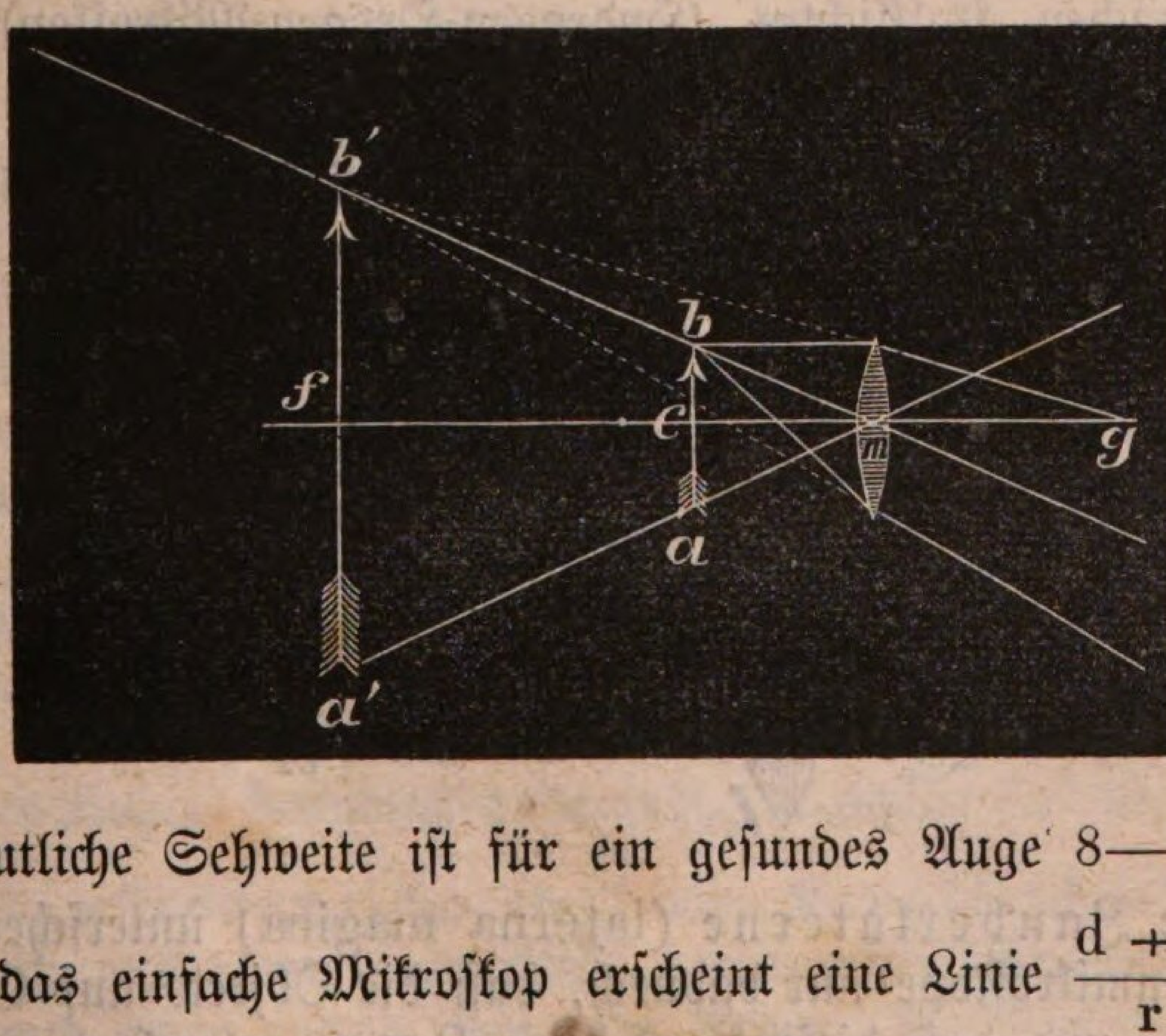


Die Camera obscura wurde um das Jahr 1650 vom Neapolitaner Porta erfunden, die Lichtbilder von dem Franzosen Daguerre 1838.

§ 97. Vergrößerungsgläser. 1) Linsen von sehr kleiner Brennweite sind einfache Mikroskope (Lupen). § 97. Das einfache Mikroskop.

Das Object wird so zwischen die Linse und den Brennpunkt gehalten, daß das Bild in der deutlichen Sehweite erscheint.

Fig. 146.



Die deutliche Sehweite ist für ein gesundes Auge 8—10 Zoll.

Durch das einfache Mikroskop erscheint eine Linie $\frac{d + r}{r}$ mal so

groß, als sie wirklich ist, und eine Fläche $\left(\frac{d + r}{r}\right)^2$ mal so groß, wo d die deutliche Sehweite, r den Krümmungshalbmesser bezeichnet.

ab (Fig. 146) sei das Object, a'b' das Bild, fg die Hauptachse; dann ist $\frac{a'b'}{ab} = \frac{mf}{mc}$.

Setze mf = d und mc = x, so ist $\frac{a'b'}{ab} = \frac{d}{x}$.

Nach der Formel ist aber $\frac{1}{x} - \frac{1}{d} = \frac{1}{r}$, wo r der Krümmungshalbmesser (d muß negativ gesetzt werden, weil das Bild vor der Linse liegt), und hieraus ist $x = \frac{rd}{r + d}$. Diesen Werth von x in die obige Gleichung gesetzt, giebt $\frac{a'b'}{ab} = \frac{d + r}{r} = \frac{d}{r} + 1$.

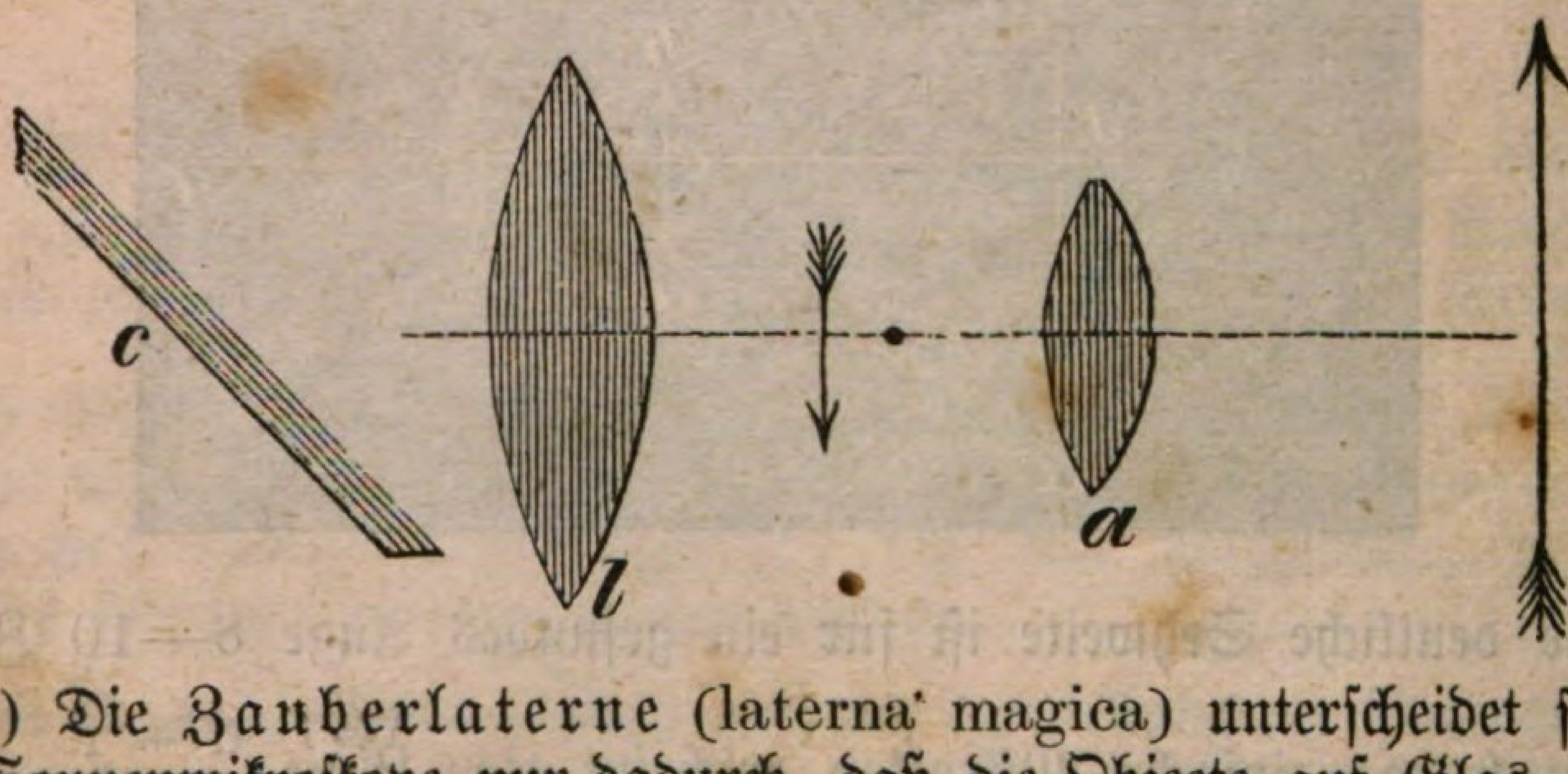
Je kleiner also r und je größer d, desto stärker ist die Vergrößerung.

Das Sonnenmikroskop.

2) Das **Sonnenmikroskop** (Fig. 147) besteht aus einer Convexlinse von kleiner Brennweite (a), welche von den kleinen Gegenständen, die man vor der Linse außerhalb der Brennweite anbringt, auf der weißen Wand eines verdunkelten Zimmers ein sehr vergrößertes Bild erzeugt. Da aber die von dem kleinen Objecte ausgehenden Strahlen auf eine große Fläche ausgebreitet werden, so muß, soll das Bild nicht undeutlich werden, das Object sehr stark erleuchtet sein. Dies geschieht durch eine oder mehrere Convexlinsen l, welche das von einem Planspiegel c auf sie geworfene Sonnenlicht auf dem Objecte concentriren. Anstatt des Sonnenlichtes bedient man sich auch des Drummond'schen Kalklichtes (Hydrogen-Oxygen-Mikroskop), oder des elektrischen Lichtes.

Das Sonnenmikroskop wurde von Lieberkühn 1738 erfunden.

Fig. 147.



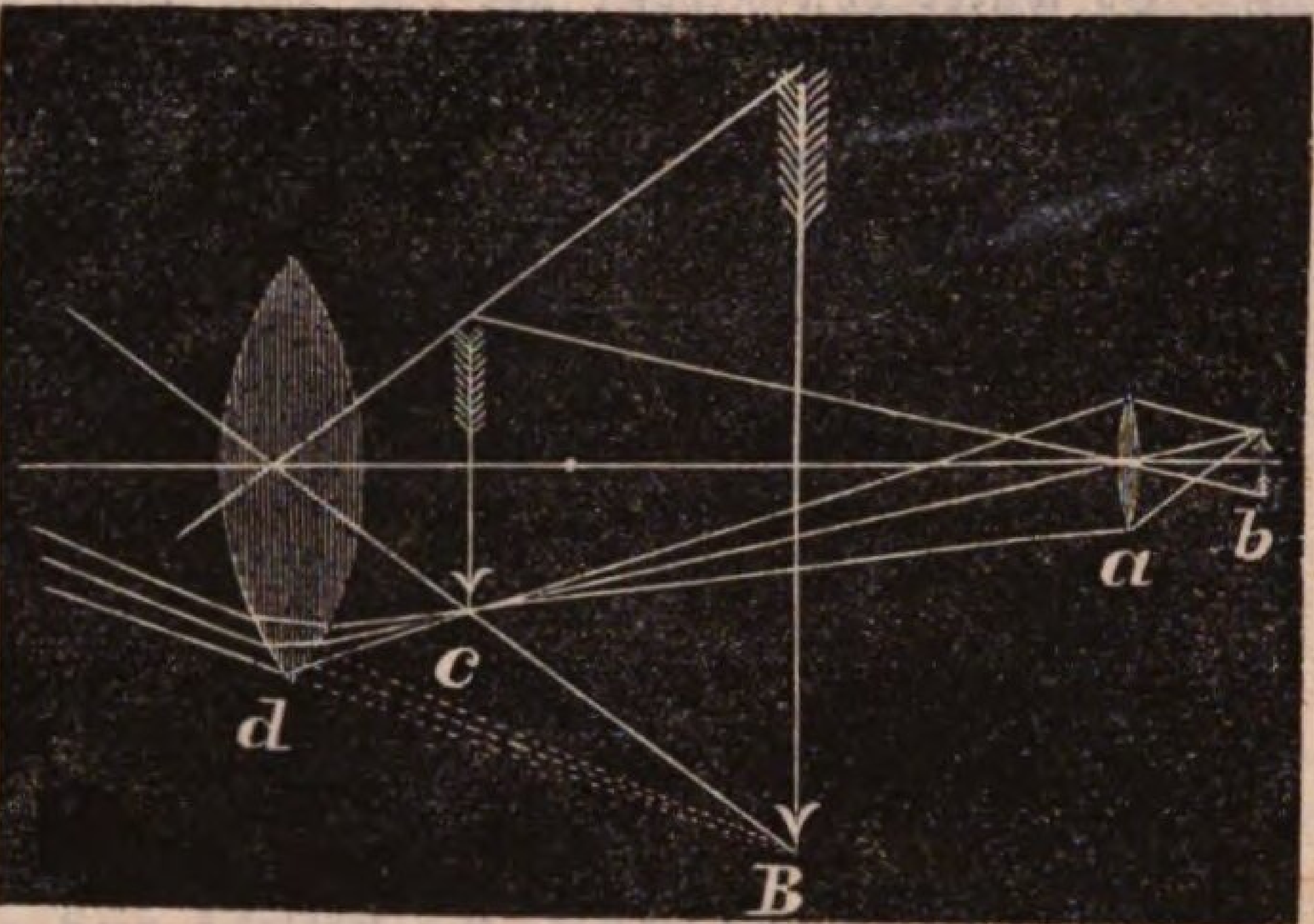
Die Zauberlaterne.

3) Die **Zauberlaterne** (laterna magica) unterscheidet sich von dem Sonnenmikroskope nur dadurch, daß die Objecte auf Glas gemalte Bilder sind, und daß diese durch eine Lampe erleuchtet werden.

4) Das zusammengesetzte Mikroskop (Fig. 148) besteht aus einer Linse von sehr kleiner Brennweite a, welche von dem außerhalb der Brennweite befindlichen Object b ein vergrößertes Bild c erzeugt (Objectivglas) und einer andern von etwas größerer Brennweite d, welche als Lupe zur Betrachtung jenes großen Bildes dient (Ocularglas). Außerdem enthält das Instrument gewöhnlich noch eine Erleuchtungs-Linse oder einen Erleuchtungsspiegel, und anstatt des einen Objectivglases zwei oder mehrere dicht an einander liegende Linsen, wodurch die Brechung, also auch die Vergrößerung verstärkt wird, ohne daß sich dadurch das Gesichtsfeld verkleinert. Ferner befindet sich in der Regel zwischen dem Objectiv und dem Ocular noch eine Convexlinse, Collectiv-Linse genannt, welche die durch die Linse a kommenden Strahlen, ehe durch dieselben das Bild c zu Stande kommt, auffängt und ein kleineres Bild innerhalb der Brennweite des Oculars d erzeugt. Dadurch wird zwar die Vergrößerung vermindert, aber die Deutlichkeit des Bildes und das Gesichtsfeld vergrößert.

Das zusammengesetzte Mikroskop.

Fig. 148.



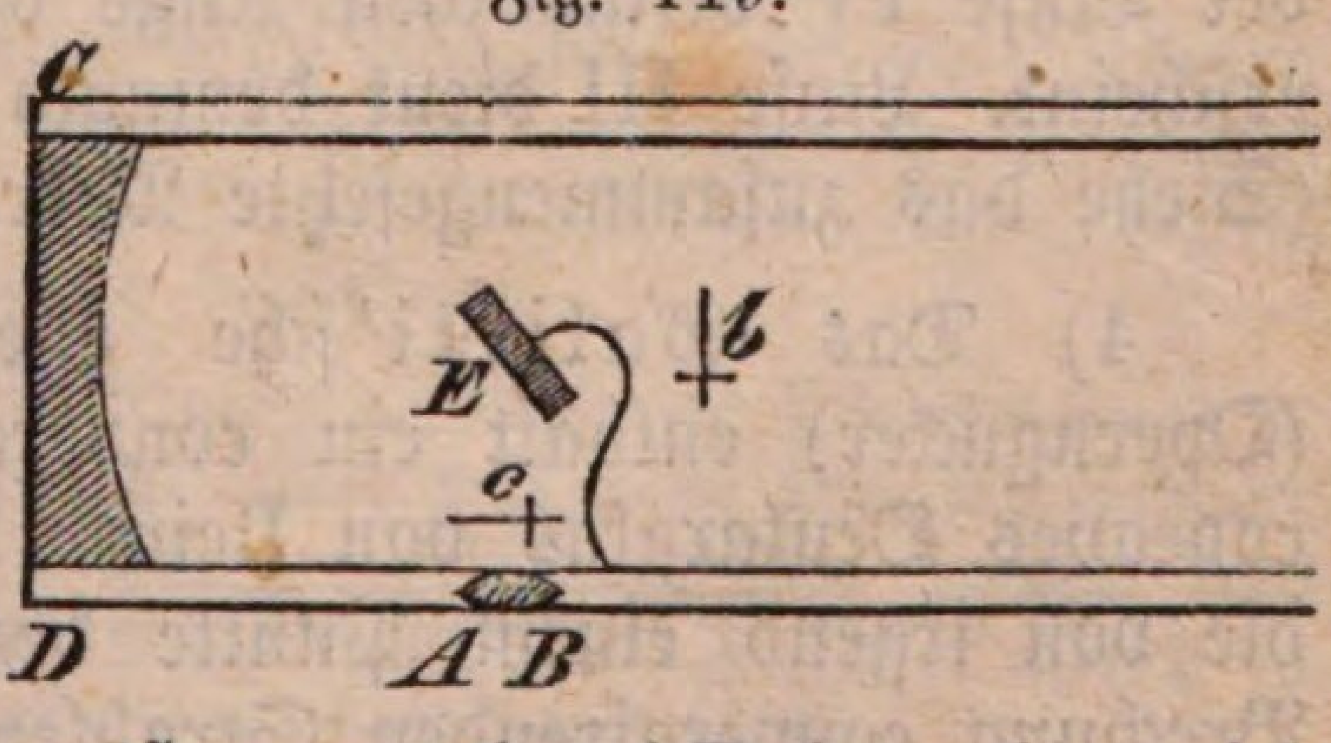
§ 98. **Fernröhre.** Die Einrichtung aller Fernröhre stimmt darin überein, daß durch einen Hohlspiegel oder eine Convexlinse von entfernten Gegenständen ein Bild in der Nähe erzeugt und dieses durch ein Vergrößerungsglas betrachtet wird. Nur der Operngucker weicht hiervon ab.

§ 98. Fernröhre.

1) Das Newton'sche Fernrohr (Fig. 149) besteht aus einem großen Hohlspiegel CD, welcher von entfernten Gegenständen ein Bild nahe am Brennpunkte b erzeugen würde, wenn sich die zurückgeworfenen Strahlen dort vereinigen könnten. Ehe sie sich aber vereinigen, werden sie von einem Planspiegel E aufgefangen und nach der Seitenwand geworfen, wo dann ein Bild c entsteht, welches durch ein in der Wand des Rohres befindliches Vergrößerungsglas AB betrachtet wird.

Das Newton'sche Fernrohr,

Fig. 149.



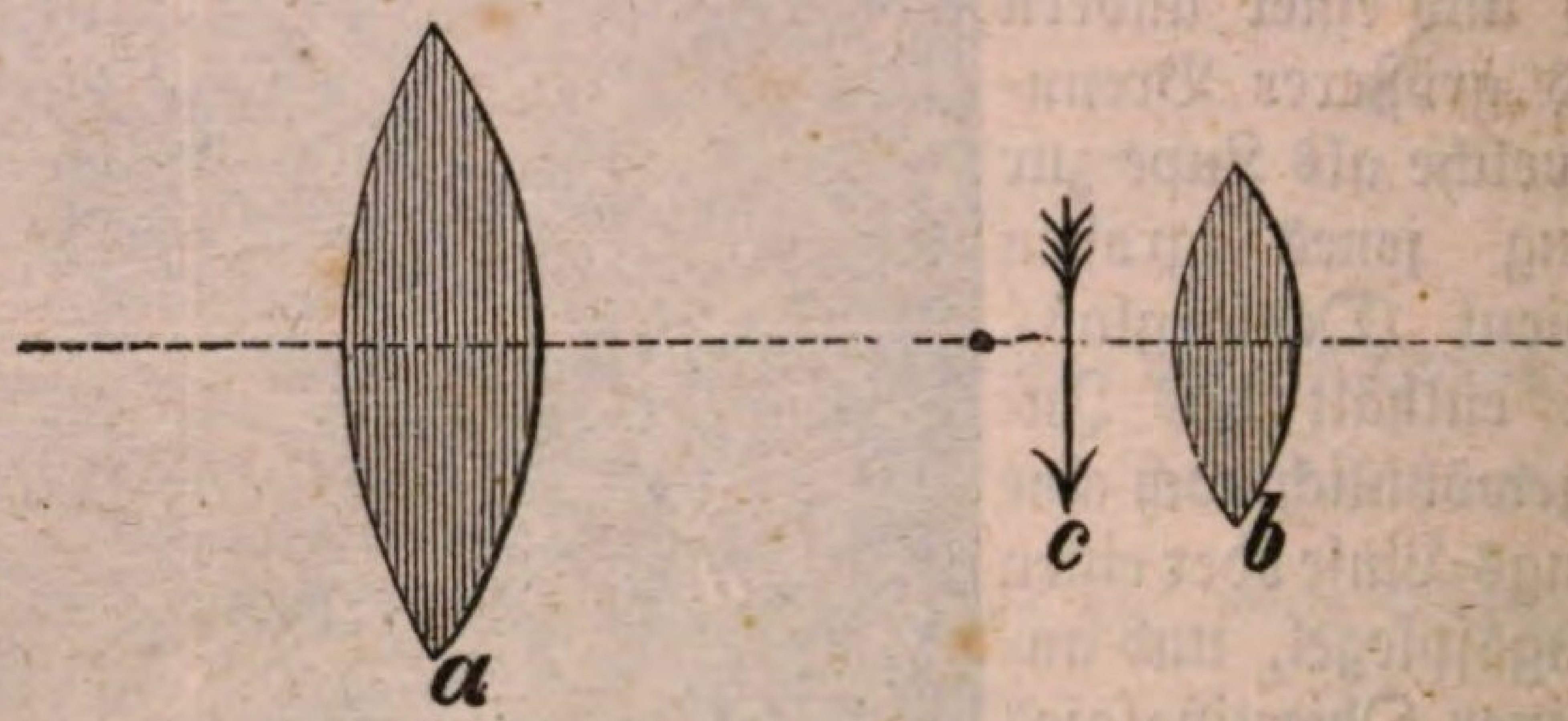
2) Das astronomische oder das Kepplersche Fernrohr (Fig. 150) ist aus einer Convexlinse von großer Brennweite a (Objectivglas) und einer andern von sehr kleiner, b (Ocularglas), so zu-

das Keppler'sche,

sammengesetzt, daß die Brennpunkte zusammenfallen. Die von der ersteren in der Brennweite der zweiten erzeugten Bilder, c, werden durch diese vergrößert.

Es wurde von Keppler um das Jahr 1630 construirt.

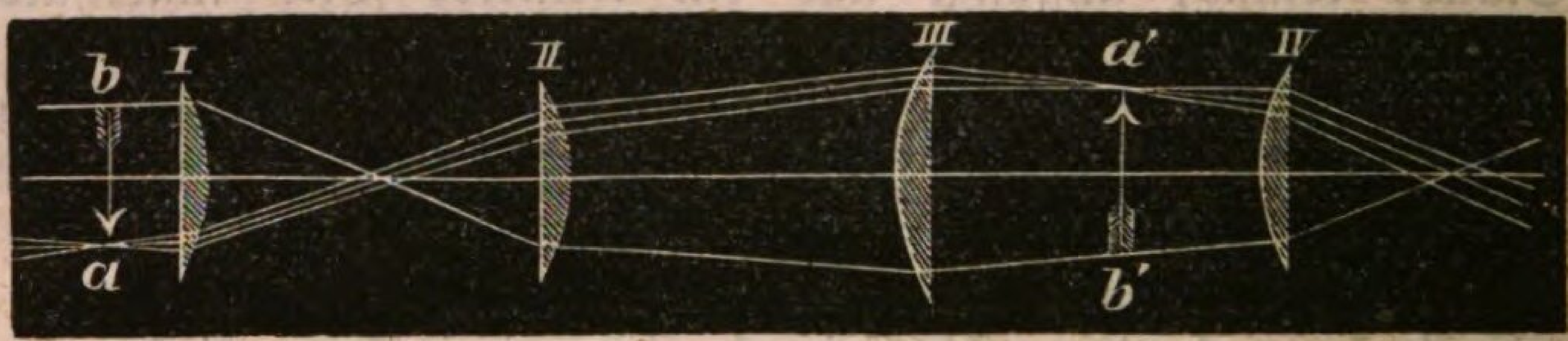
Fig. 150.



das Erdfernrohr,

3) Das **Erdfernrohr** besteht aus einem Objectivglase von großer, und vier Oculargläsern von kleiner Brennweite. Die letzteren bleiben in unveränderter Stellung gegen einander (s. Fig. 151) und sind in einer gegen das Objectiv verschiebbaren Röhre eingeschlossen, damit sie für jedes Object so gestellt werden können, daß das vom Objectiv er-

Fig. 151.



zeugte Bild ab in die Brennweite des ersten Oculars (I) nahe an den Brennpunkt fällt. Die von einem Punkte desselben kommenden Strahlen bleiben daher nach dem Durchgang durch Linse I divergirend. Durch die Linse II werden sie convergirend; ehe sie sich aber zu einem Bilde vereinigen, fallen sie auf die Linse III und diese erzeugt nun innerhalb der Brennweite der Linse IV ein Bild a'b', welches nun dem hinter der Linse IV befindlichen Auge vergrößert in der deutlichen Sehweite erscheint. Linse III dient demnach als Collectivglas, Linse IV als Lupe. (Siehe das zusammengesetzte Mikroskop.)

das Galiläi'sche.

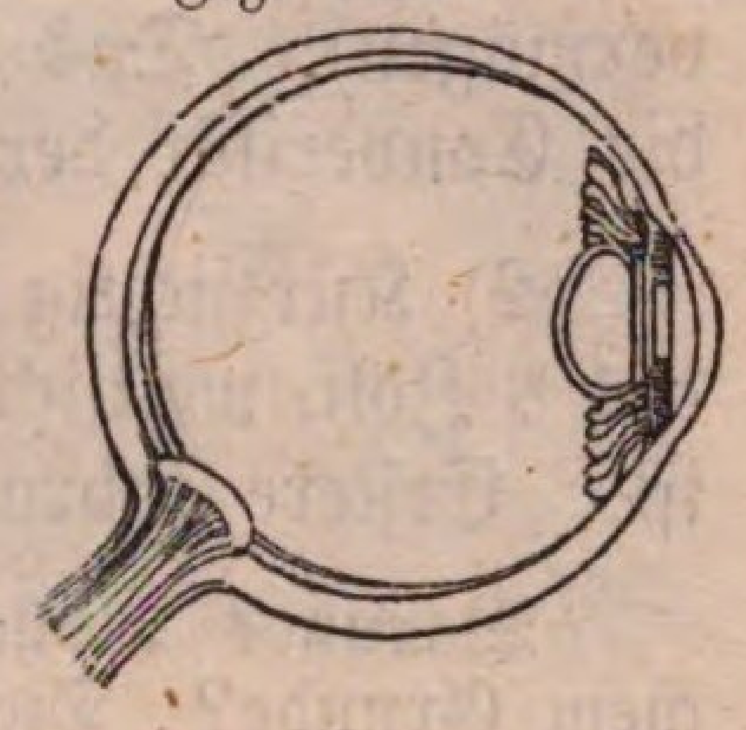
4) Das **Galiläi'sche** oder das **holländische Fernrohr** (Operngucker) enthält ein convexes Objectivglas von großer und ein concaves Ocularglas von kleiner Brennweite, so zusammengestellt, daß die von irgend einem Punkte des Objects kommenden und nach der Brechung convergirenden Strahlen durch das Ocularglas, ehe sie sich vereinigen, wieder so divergirend gemacht werden, als ob sie von einem nahe vor dem Ocularglase liegenden Punkte herkämen, wodurch ein naheliegendes, aufrechtes, vergrößertes Bild des Objectes entsteht.

Die Erfindung desselben fällt in die Zeit von 1600—1610.

F. Das menschliche Auge und das Sehen.

§ 99. Das Auge. (Fig. 152.) Das menschliche Auge, sowie das aller Wirbelthiere, ist ein optisches Instrument. Es besteht aus zwei Kugelabschnitten, von denen der größere von einer weißen, undurchsichtigen Haut (die harte Haut genannt), der kleinere convexere von einer durchsichtigen Haut (Hornhaut) umschlossen ist. Erstere ist auf der Innenseite mit der geschwärzten Aderhaut bekleidet und über dieser liegt die Nervenhaut (Netzhaut), welche eine Ausbreitung des hinten in das Auge eintretenden Sehnerves ist. Die beiden inneren Räume der Kugelabschnitte sind durch die in einer zarten, durchsichtigen Kapsel liegende Krystall-Linse und den sie haltenden Faltenkranz von einander geschieden. Der vordere Raum ist mit einer wässerigen Flüssigkeit, der hintere, größere, mit einer durchsichtigen, gallertartigen Substanz gefüllt. Vor der Krystall-Linse ist eine fast ebene, gefärbte, undurchsichtige Haut, die Iris, ausgespannt, welche in der Mitte ein rundes Loch, die Pupille, hat. Dieses erweitert sich im Dunkeln und verengt sich im Hellen. § 99. Beschreibung des Auges.

Fig. 152.



Die Krystall-Linse und der vordere, von der durchsichtigen Hornhaut begrenzte Kugelabschnitt wirken nun als zwei aneinanderliegende Convexlinsen und erzeugen von den vor dem Auge befindlichen Gegenständen ein Bild auf der Netzhaut. Die Iris bildet für beide Linsen die Blendung. Ueber den vorderen Theil des Auges fließt fortwährend eine dünne Schicht einer wasserhellen Flüssigkeit herab, wodurch das Auge staubfrei erhalten wird, und um die Reinigung recht vollständig zu machen, wischen die Augenlider bei dem unfreiwilligen Blinken nach. Die herabfließende Feuchtigkeit wird durch eine schräge Rinne unter dem Auge nach einem im Augenwinkel befindlichen Canale geführt. Es giebt einen krankhaften Zustand, in welchem dieser verstopft ist; dann fließt die Flüssigkeit nach außen und es entstehen die sogenannten Thränen- oder Hexen-Augen.

Die Fische haben eine fast kugelförmige Krystall-Linse, weil die Brechung des Lichtes beim Uebergang aus Wasser in das Auge geringer ist, als beim Uebergange aus Luft in dasselbe. Will der Mensch im Wasser deutlich sehen, so muß er das Auge mit einer Convexbrille bewaffnen.

Das Netzhautbild kann man an einem frischen Ochsenauge sichtbar machen, wenn man dieses in ein flaches Schälchen legt, oben mit einer scharfen Scheere in die weiße Haut ein Loch schneidet, ein dünnes Glasplättchen darauf legt und ein Licht vor das Auge hält. (Das Auge muß der Fleischer gleich in reines Wasser legen, sonst wird die durchsichtige Hornhaut trübe.)

Warum mag die Aderhaut geschwärzt sein? Bei den Albinos fehlt diese schwarze Färbung. Was ist die Folge davon? Warum kann man nicht gleich sehen, wenn man aus einem dunkeln in einen hellen Raum kommt, und umgekehrt? Man empfindet Augenschmerzen, wenn man ein Stacket entlang geht, durch welches die Sonne scheint. Warum?

Accommodationsvermögen des Auges.

1) Obwohl bei einer Convexlinse die Bilder von verschieden entfernten Gegenständen in verschiedener Entfernung hinter der Linse liegen, findet sich doch bei einem gesunden Auge das Bild stets auf der Netzhaut. Das Auge muß also die Fähigkeit besitzen, sich so zu verändern, daß das Bild immer auf die Netzhaut zu liegen kommt (Accommodationsvermögen). Das Accommodationsvermögen besteht in dem Vermögen, die Convexität der Krystall-Linse zu verändern.

2) Kurzsichtig nennt man Personen, deren deutliche Sehweite kleiner als 8 Zoll, weitsichtig solche, deren deutliche Sehweite größer als 10 Zoll ist. Erstere gebrauchen concave, letztere convexe Brillen.

Warum? Woher rühren diese Fehler? Kinder sind kurzsichtig, aus welchem Grunde? Die Kurzsichtigkeit kommt in der Regel nur bei jungen, die Weitsichtigkeit nur bei alten Personen vor. Warum?

Messung der Sehweite.

Optometer sind Instrumente zur Messung der Sehweite. Als Optometer dient eine gerade, schwarze Linie auf weißem Grunde. Dieselbe fast in der Richtung der Augenaxe so gehalten, daß ihr Anfangspunkt ein wenig unter dem Auge liegt, erscheint als Doppelkegel, dessen Spitze die deutliche Sehweite ist.

Woher kommt das?

Eine andere Art Optometer besteht aus zwei in einander steckenden verschiebbaren Röhren, die beide an dem einen Ende durch eine Scheibe verschlossen sind. Die Scheibe der äußeren enthält 2 feine Spalten, deren Entfernung von einander kleiner, als der Durchmesser der Pupille, die Scheibe der inneren einen Spalt in gleicher Richtung mit den ersteren. Mit einem Auge durch die beiden Spalten nach dem hellen Himmel gesehen, erscheint der innere Spalt einfach, wenn er sich in der Entfernung der deutlichen Sehweite von den beiden andern befindet; in jeder andern Entfernung erscheint er doppelt.

Aus welchem Grunde?

Macht man mit einer Nadel ein sehr kleines Loch in ein Kartenblatt, und hält dieses ganz dicht vor das Auge, so sieht man sehr kleine Gegenstände ganz deutlich, auch wenn man sie noch so nahe an das Auge hält. Hat man aber 2 solche kleine Löcher in das Kartenblatt gemacht, deren Entfernung kleiner als der Durchmesser der Pupille ist, so sieht man Gegenstände, welche innerhalb der Sehweite liegen, doppelt. Erkläre diese Erscheinungen.

Erregung des Augennerves durch das Licht.

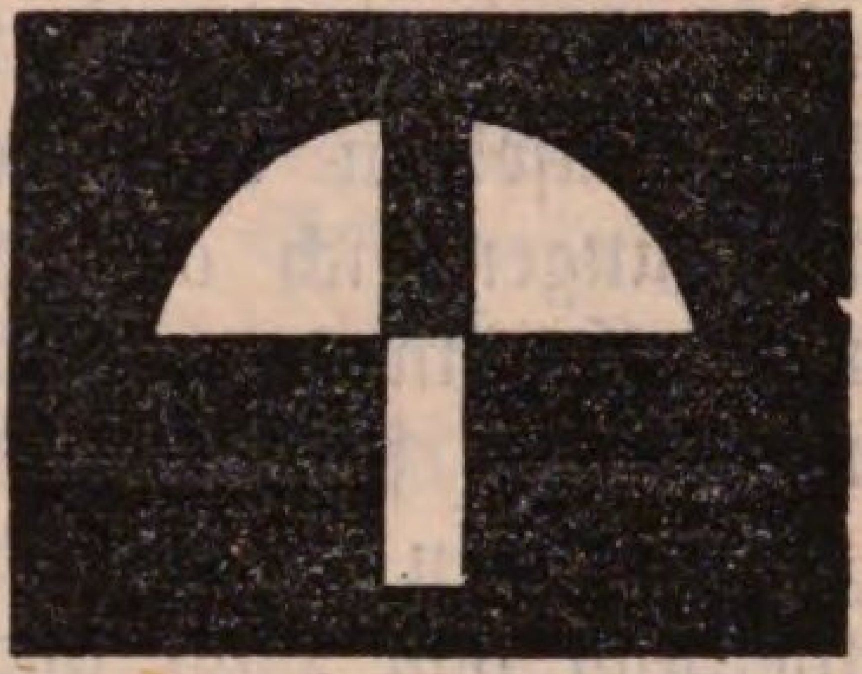
3) Um einen Lichteindruck zu empfinden, muß derselbe einige Zeit gedauert haben. Z. B. eine abgeschossene Flintenkugel sieht man nicht.

4) Jeder Lichteindruck wird aber auch noch einige Zeit nach dem Aufhören desselben empfunden.

Eine glühende Kohle schnell im Kreise herumgedreht, erscheint als feuriger Kreis. An einem Wagenrade, welches schnell um die Achse gedreht wird, sieht man die Speichen nicht; der Raum, welchen sie durchlaufen, erscheint von einer halbdurchsichtigen Materie erfüllt. Wenn man die untergehende Sonne einige Augenblicke angesehen hat und wendet dann das Auge ab, so sieht man noch eine Zeit lang mehrere Sonnenscheiben. Warum mehrere?

5) Der Lichteindruck wird nicht nur auf der unmittelbar vom Lichte getroffenen Stelle der Nervenhaut, sondern auch in deren Umgebung empfunden (Irradiation).

Fig. 153.



Die Mondsichel scheint zu einem größeren Kreise zu gehören, als der aschfarbene, unerleuchtete Theil des Mondes. Die hellen Sterne erscheinen uns größer, als die weniger hellen. Macht man in ein Blatt Papier drei Ausschnitte, wie sie die Fig. 153 zeigt, heftet dasselbe auf eine Fensterscheibe und sieht aus einiger Entfernung durch die Ausschnitte nach dem hellen Himmel, so erscheint der untere viel breiter, als der darüber stehen gebliebene Papierstreifen, welcher doch gleiche Breite mit ihm hat. Hat man diese Figur längere Zeit unverwandten Auges betrachtet und läßt sie dann hinwegnehmen, so sieht man an derselben Stelle der Fensterscheibe die entgegengesetzte Figur, d. h. die hellen Theile erscheinen dunkel, die schwarzen hell.

6) Die Stelle, in welcher der Augennerv aus dem Kopfe in das Auge tritt, ist für das Licht unempfindlich (punctum coecum).

Macht man zwei Punkte auf Papier, welche ungefähr 3 Centimeter weit von einander abstehen, und betrachtet den rechten Punkt mit dem linken Auge, oder umgekehrt, so findet man, wenn man das Papier dem Auge nähert, eine bestimmte Entfernung, bei welcher der andere Punkt verschwindet. Nähert man das Papier noch mehr, so kommt derselbe wieder zum Vorschein.

7) Der graue Staar ist eine Verdunkelung der Krystall-Linse; der schwarze eine Abstumpfung des Nervs. Ersterer wird geheilt, indem die Krystall-Linse herausgenommen, oder nach unten gedrückt wird; letzterer ist unheilbar.

Warum können Personen, denen der graue Staar operirt ist, doch noch sehen? Sie sind aber weitsichtig; warum? und müssen daher eine stark convexe Brille tragen.

Das Sehen.

§ 100. Die Empfindung des Sehens entsteht, wie oben gezeigt, durch den Eindruck, den das Netzhautbild auf unsern Sehnerv macht. Von was für einem Gegenstande aber dieser Nerveneindruck herrührt, erfahren wir durch denselben nicht, wenn wir uns nicht früher durch den Tastsinn in Kenntniß gesetzt haben (was gewöhnlich in der Kindheit geschieht), was für ein Gegenstand dem Eindrucke auf den Sehnerv entspricht (daher die Neigung der Kinder, Alles zu betasten). Das Sehen ist also nicht ein bloßes Empfinden, sondern zugleich ein Urtheilen. (Ebenso verhält es sich mit allen übrigen Sinneswahrnehmungen.)

§ 100. Beim Sehen empfinden und urtheilen wir.

Ein Blindgeborener, der durch seine übrigen Sinne recht wohl seine Umgebung kennt, würde, wenn er auf einmal sehen lernte, die ihm bekannten Gegenstände vermittelst des Gesichtes nicht erkennen. Warum erscheinen uns die Gegenstände aufrecht, trotzdem, daß die Netzhautbilder derselben umgekehrt sind? Warum sehen wir jeden Gegenstand nur einfach, obwohl zwei Bilder (in jedem Auge eins) von ihm entstehen? aber doppelt, wenn wir das eine Auge etwas seitwärts drücken oder auf einen anderen dahinter oder davor

stehenden Gegenstand sehen? Wird einem Schielenden sein Augenübel geheilt, so sieht er in der ersten Zeit alle Gegenstände doppelt, warum?

§ 101. Unterscheidung einer Fläche von einem Körper.

§ 101. Der Maler ist im Stande, blos vermittelst schwarzer Farbe auf eine weiße Fläche einen Körper zu malen. Die eine Fläche mit der verschiedenen Vertheilung von Licht und Schatten macht also fast denselben Eindruck auf unser Auge, als die nach verschiedenen Richtungen sich erstreckenden Begrenzungsflächen eines Körpers. Ob wir also eine einzige Fläche oder einen Körper vor uns haben, und was dieser für eine Gestalt habe (denn diese hängt von den Begrenzungsflächen ab), beurtheilen wir zunächst aus der verschiedenen Vertheilung von Licht und Schatten auf seinen Flächen.

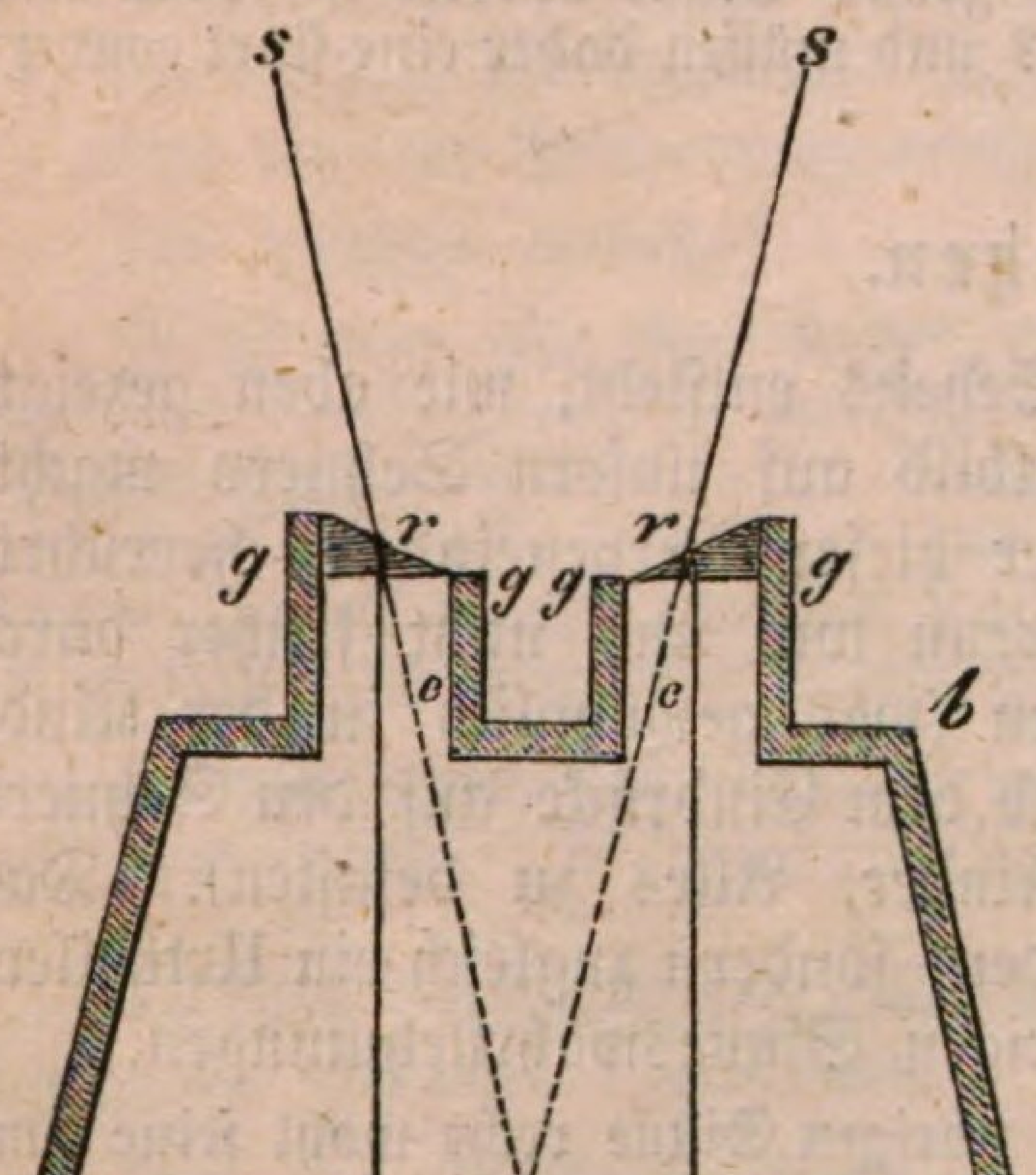
Bei eckigen Körpern sind die Licht- und Schattengrenzen gerade Linien; bei runden Körpern nimmt das Licht allmählich ab; z. B. bei einer Kugel hat ein Punkt, bei einem Cylinder eine Linie das hellste Licht; von da geht es allmählich in Schatten über.

Aber doch läßt sich selbst das täuschendste Bild noch von einem Körper unterscheiden, und zwar deshalb, weil man von einem Körper in jedem Auge ein anderes Netzhautbild erhält. Mit dem linken Auge sieht man nämlich mehr von den links liegenden Theilen desselben, mit dem rechten mehr von den rechts liegenden. Daß sich unser Urtheil gerade auf diesen Umstand stützt, sind wir uns zwar nicht bewußt, läßt sich aber durch ein Instrument, das sogenannte Stereoskop, beweisen, dessen Einrichtung folgende ist:

Das Stereoskop.

In den Deckel eines Kästchens ab (Fig. 154) sind zwei Röhren cc so eingesetzt, daß man durch sie wie durch eine Brille nach dem Boden desselben sehen kann. Hier liegen neben einander zwei Bilder von ein und demselben Gegenstande, am besten photographische, von denen das eine den Gegenstand so darstellt, wie man ihn mit dem linken, das andere, wie man ihn mit dem rechten Auge sieht. In die beiden Röhren cc sind zwei prismatische Gläser gg eingesetzt, durch welche die Lichtstrahlen so gebrochen werden, daß die beiden neben einander liegenden Bilder auf ein und derselben Stelle erscheinen. Sieht man nun von oben durch die Gläser, so erblickt man nicht zwei Bilder, sondern einen Körper.

Fig. 154.



Damit die Bilder hinlänglich erleuchtet sind, muß die eine Seitenwand des Kästchens zur Hälfte ausgeschnitten sein.

Gesetzt m und m' sind zwei entsprechende Punkte der beiden Bilder, so gehen die Lichtstrahlen durch die Gläser in der Richtung mrs, so daß man die Punkte zusammen in dem Durchschnittspunkte der Linien sr sieht.

§ 102. Beurtheilung der Größe eines Gegenstandes.

§ 102. Ebenso erfahren wir durch das Netzhautbild allein nicht, wie groß ein Gegenstand und wie weit er von uns entfernt ist. Für sehr kleine oder sehr entfernte Gegenstände, d. i. für Gegenstände, von welchen das Netzhautbild sehr klein ist, ist zwar die Größe desselben ein Haltpunkt zur Beurtheilung der Größe des Gegenstandes. Wie wir uns aber ein Urtheil über die Größe größerer oder näherer Gegenstände verschaffen, wird die folgende Betrachtung lehren.

Unter Größe eines Gegenstandes verstehen wir die Länge seiner Dimensionen, und Dimensionen sind gerade Linien. Nun kann man aber streng genommen immer nur wenige Punkte auf einmal genau sehen. Wollen wir also die Länge einer nicht ganz kurzen Linie beurtheilen, so richten wir das Auge (die Augenachse) zuerst auf den einen Endpunkt und drehen dasselbe bis zum andern Endpunkte. Der Winkel, um den sich hierbei das Auge dreht, heißt Sehwinkel. Nun wissen wir aus Erfahrung, daß sich das Auge um einen desto größeren Winkel drehen muß, je länger die Linie ist, und schließen daher umgekehrt: je größer der Sehwinkel, desto größer die Linie. Wir wissen aber auch, daß der Sehwinkel ein und derselben Linie nicht immer derselbe bleibt, sondern größer oder kleiner wird, je nachdem die Linie dem Auge näher oder ferner liegt, je nachdem sie senkrecht oder schief gegen die Augenachse gerichtet ist. Wir verlassen uns daher bei Beurtheilung der Länge einer Linie nicht blos auf den Sehwinkel, sondern bringen dabei auch die Entfernung und die Richtung derselben in Anschlag. Außerdem benutzen wir bei Beurtheilung einer Länge auch noch die Vergleichung derselben mit andern, uns bekannten, daneben befindlichen Längen.

Wir beurtheilen also die Dimensionen eines Gegenstandes: 1) nach dem Sehwinkel, wobei wir die Entfernung und die Richtung berücksichtigen, und 2) nach der Größe, in der uns andere bekannte Längen erscheinen.

Die beiden parallelen Reihen einer Baumallee, die beiden parallelen Eisenbahnschienen, die beiden Ränder eines Trottoirs, der Fußboden und die Decke eines langen Corridors scheinen in der Ferne zusammenzulaufen. Die Sonnenstrahlen, welche bisweilen bei bedecktem Himmel zwischen den Wolken hindurch scheinen und die Dünste oder den Staub in der Atmosphäre erleuchten, scheinen nach der Erde hin zu divergiren. Eine horizontale Fläche scheint in ihren entfernteren Theilen aufzusteigen. Wie stellt der Maler eine Allee, die Decke und den Fußboden eines langen Zimmers u. s. w. dar? Wie eine horizontale Fläche? Warum erscheinen uns Bäume, Häuser 2c. einer Landschaft, durch ein offenes Fenster gesehen, von dem man etwas entfernt steht, so klein? Den aufgespannten Regenschirm hält man gewöhnlich für viel breiter, als die offene Hausthür, in welche man eintreten will, obgleich das Umgekehrte der Fall ist. Ein kleiner Fleck auf der Nase erscheint uns sehr groß. In der

Ferne scheint uns eine Windmühle sich langsamer zu drehen, ein Reiter langsamer zu reiten u. dergl., als in der Nähe. Eine Mücke, die seitwärts dicht an unserem Auge vorbeifliegt, halten wir für einen großen, in der Ferne fliegenden Vogel und umgekehrt. Von einem Thurme gesehen, erscheinen uns die Personen, die Häuser 2c. viel kleiner und verhältnißmäßig breiter, als wenn sie in gleicher horizontaler Entfernung von uns sind, daher der Unterschied zwischen einem gewöhnlichen Bilde einer Gegend, und einem aus der Vogelperspective aufgenommenen. Wenn man auf der Eisenbahn fährt, so scheinen die Ackerfelder, deren Längsrichtung senkrecht auf der Richtung der Eisenbahn steht, einen Kreis zu beschreiben, weil die Punkte ihrer Seitenkanten eine desto kleinere Strecke zurückzulegen scheinen, je ferner sie von uns liegen. Mache dies durch Figur deutlich.

Beurtheilung der Entfernung.

Die Entfernung eines Gegenstandes von uns ist zwar auch eine gerade Linie, wir können aber ihre Länge nur unsicher nach dem Sehwinkel beurtheilen, weil sich dieser mit zunehmender Größe der Entfernung nur sehr wenig ändert. Wir wissen aber aus Erfahrung, daß uns ein Gegenstand desto größer und deutlicher erscheint, je näher er uns liegt, und schließen daraus umgekehrt: Je deutlicher und größer ein Gegenstand uns erscheint, desto näher ist er uns. Ferner wissen wir, daß zwischen einem Gegenstande und unserem Standpunkte desto mehr Gegenstände Raum haben, je ferner er von uns liegt, und schließen daraus: Je mehr Gegenstände zwischen uns und dem zu beurtheilenden liegen, desto ferner ist er.

Wir beurtheilen also die Entfernung aus der Größe und Deutlichkeit, in der uns der Gegenstand erscheint und aus der Menge anderer Gegenstände, die zwischen ihm und uns liegen.

Ein Dorf scheint uns näher zu liegen, wenn das Feld mit Schnee bedeckt ist (besonders bei Sonnenschein), als im Sommer. Warum kann man die verticale Entfernung weniger gut beurtheilen, als die horizontale? Bei hellem Wetter schießt der Jäger in viel größere Höhe nach Vögeln, als bei trüber, besonders nebliger Witterung, und daher im ersteren Falle viel öfter vergeblich, als im letzteren. Ueber einen Fluß zu werfen, gelingt weniger gut, als über ein Ackerstück, welches eben so breit erscheint. Sieht man nach Gegenständen durch die hohle Hand oder durch eine andere kleine Oeffnung, so erscheinen dieselben viel ferner, als mit freiem Auge gesehen. Der Maler malt die Gegenstände, welche er als in der Ferne liegend darstellen will, sehr klein, mit unbestimmten Farben und mit unbestimmten Umrissen. Die Höhe eines Thurmes erscheint, wenn man von oben herabsieht, viel größer, als eine gleiche horizontale Entfernung; die Sterne halten wir alle für gleich weit entfernt. Ein Thurm, der hinter einem Berge hervorragt, scheint auf dem Berge zu stehen. Die Bergspitzen eines Gebirges scheinen alle gleich weit von uns entfernt zu sein. Warum halten wir die Entfernung hoher Berge gewöhnlich für kleiner, als sie wirklich ist?

Warum erscheinen uns Sonne und Mond beim Auf- und Untergange viel größer, als wenn sie hoch über dem Horizonte stehen, obgleich der Sehwinkel in beiden Fällen derselbe ist? Ebenso scheinen die einzelnen Sterne eines Sternbildes in der Nähe des Horizontes viel weiter von einander zu stehen, als wenn sich letzteres in größerer Höhe befindet.

Wie sehr beim Sehen der Verstand thätig sein muß, um den Eindruck, den ein Gegenstand auf die Netzhaut macht, zu entziffern, geht unter Anderem auch daraus hervor, daß die Thiere, wenn ihr Auge auch schärfer als das des

Menschen ist, doch schlechter sehen, als dieser. Denn das Wild erkennt z. B. den auf dem Anstande stehenden Jäger nicht, wenn es auch nur um wenige Schritt neben ihm aus dem Walde kommt, vorausgesetzt, daß dieser sich ganz regungslos verhält. Die scheuesten Thiere stutzen zwar, wenn sie ihn sehen, betrachten ihn einige Zeit, gehen dann aber sorglos weiter. Auch bei der Treibjagd, also am Tage, kommt das Wild im Walde auf den ruhig stehenden Jäger los, sieht ihn an und erkennt ihn nicht.

G. Zerlegung und Zusammensetzung des Lichtes.

§ 103. Das Sonnenlicht besteht aus vielen farbigen Strahlen von verschiedener Brechbarkeit.

§ 103. Läßt man in ein verdunkeltes Zimmer durch eine kleine Oeffnung ein Bündel Sonnenstrahlen fallen, so erscheint auf der gegenüberliegenden Wand ein rundes, weißes Sonnenbild. Läßt man aber das Strahlenbündel durch ein Prisma gehen, welches man horizontal, den brechenden Winkel nach unten hält, so erscheint das Sonnenbild:

1) höher als vorher;

2) nicht mehr rund, sondern als eine auf beiden Seiten von geraden Linien, unten und oben von Kreisbogen begrenzte Figur;

3) nicht weiß, sondern farbig und zwar von unten nach oben: roth, orange, gelb, grün, blau, violett.

Dieses veränderte Sonnenbild nennt man Spectrum (s. Fig. 155).

Hieraus folgert man:

Das weiße Sonnenlicht besteht aus verschiedenfarbigen Strahlen, und diese haben verschiedene Brechbarkeit, die rothen die kleinste, die violetten die größte; das Spectrum besteht demnach aus unendlich vielen farbigen Kreisen, welche sich gegenseitig decken und deren Farben allmählich in einander übergehen.

§ 104. Erscheinungen, welche obige Hypothese bestätigen.

§ 104. Diese Hypothese wird durch folgende Erscheinungen bestätigt:

1) Wird das Bild dicht hinter dem Prisma aufgefangen, so erscheint es weniger lang und in der Mitte weiß (weil sich hier noch alle Farbenkreise decken).

Ist Staub im Zimmer, so sieht man, wie die Strahlen hinter dem Prisma divergiren.

2) Wird das durch das Prisma divergirend gemachte Licht durch eine Sammellinse wieder vereinigt, so erhält man wieder weißes Licht.

3) Läßt man nur rothes oder grünes &c. Licht auf das Prisma auffallen, indem man ein rothes, grünes &c. Glas vorhält, so erscheint anstatt des Spectrums ein rother oder grüner &c. Kreis, und zwar an der Stelle, wo diese Farbe im Spectrum sich befand.

Anmerkung. Manche farbige Gläser lassen nicht eine, sondern zwei, drei oder mehr Farben durch. Dann erscheint von jeder dieser Farben ein Kreis an der betreffenden Stelle.

4) Läßt man diesen rothen, grünen ꝛc. Kreis wieder auf ein Prisma fallen, so wird diese Farbe nicht wieder in mehrere Farben zerlegt und der Kreis bleibt ein Kreis. Oder: Fängt man das Spectrum mit einem Schirme, der in der Mitte eine Oeffnung hat, so auf, daß blos grüne oder rothe oder blaue ꝛc. Strahlen durch diese hindurchgehen, und läßt man diese Strahlen auf ein zweites Prisma auffallen, so werden sie nicht wieder in verschiedenfarbige Strahlen zerlegt, was außerdem ein Beweis ist, daß keine Farbe des Spectrums aus den andern zusammengesetzt ist, daß also z. B. das Grün nicht aus blau und gelb besteht.

Hiernach lassen sich folgende Erscheinungen erklären: Durch das Prisma gesehen erscheint ein kleiner weißer Fleck auf schwarzem Grunde als umgekehrtes Farbenspectrum (oben roth, unten violett); ein horizontaler weißer Streifen als bunte Fläche, deren oberer Rand roth, deren unterer violett; ein verticaler weißer Streifen in der Mitte weiß, oben roth, unten violett; eine weiße Fläche in der Mitte weiß, oben mit einem rothen, unten mit einem violetten Rande. Wird ein schwarzer Fleck, ein schwarzer Streifen ꝛc. auf weißem Grunde durch das Prisma angesehen, so zeigen sich deren Ränder entgegengesetzt gefärbt. Auch farbige Gegenstände erscheinen, durch das Prisma gesehen, mit verschiedenartigen Rändern. Warum?

§ 105. Complementärfarben.

§ 105. Vereinigt man durch eine Sammellinse alle Farben des Spectrums mit Ausnahme einer, so erhält man ein farbiges Bild, und zwar:

wenn man roth wegläßt, ein grünes,
„ „ orange „ „ blaues,
„ „ gelb „ „ violettes,

und umgekehrt. Man kann also sagen:

Roth ergänzt grün, orange ergänzt blau, gelb ergänzt violett zu weiß, und nennt jedes dieser Farbenpaare Ergänzungs- oder Complementär-Farben.

Bemerkung. Schreibt man die Farben des Spectrums der Reihe nach an die Ecken eines Sechsecks, so sind die einander gegenüberstehenden Farben Complementärfarben.

Legt man ein Octavblatt von dem jetzt gebräuchlichen rothen Löschpapier auf den Fußboden, betrachtet es eine Zeit lang und wendet dann den Blick auf die Diele, so sieht man dort einen entsprechenden grünen Fleck. Stellt man hinter die in einem schwarzen Brette angebrachte runde Oeffnung ein Blatt farbigen Papiers, und läßt dieses von einem Beobachter etwa eine Minute lang unverwandten Auges ansehen, und ersetzt dann dasselbe plötzlich durch weißes Papier, so erscheint dieses dem Beschauer in der Complementärfarbe des farbigen.

Der an das Abendroth grenzende heitere Himmel erscheint uns grünlich. Wird des Abends ein Blatt weißes Papier von einer Lichtkerze und zugleich vom Monde erleuchtet (oder in der Dämmerung vom Tageslichte), so erscheint der auf dem Papier von einem Körper erzeugte, auf die Kerze bezügliche Schatten blau; der auf den Mond oder das Tageslicht bezügliche ist orangefarbig. Schatten von jeder beliebigen Farbe kann man erzeugen, wenn man in einem verfinsterten Zimmer auf eine weiße Fläche durch eine kleine Oeffnung das Tageslicht, durch eine andere Oeffnung vermittelst farbigen

Glases farbiges Licht fallen läßt; dann erscheint der im Tageslichte erzeugte Schatten mit der Farbe des Glases, der in dem farbigen Lichte erzeugte in der Complementärfarbe. — Bei Farben-Zusammenstellungen heben sich die Complementärfarben gegenseitig, d. h. sie erscheinen lebhafter; z. B. rothe Blumen auf einem grünen Rasenteppich, ein blaues Tuch auf einem orangefarbenen Kleide u. s. w. Bei klarem Himmel erscheint der von der Sonne beschienene Theil einer Schneefläche gelblich, der im Schatten liegende bläulich. Dasselbe gilt von jeder anderen zum Theil von der Sonne erleuchteten, zum Theil beschatteten weißen oder grauen Fläche.

Die natürlichen Farben der Körper entstehen dadurch, daß eine oder mehrere Farben des auf sie fallenden Lichtes nicht zurückgeworfen werden. Das wird dadurch bestätigt, daß, wenn man einen grünen, rothen ꝛc. Fleck auf dunkeln Grund macht, dieser, durch das Prisma gesehen, nur eine oder einige Farben des Spectrums zeigt.

§ 106. **Fluorescenz.** Untersucht man die einzelnen farbigen Theile des Spectrums nach ihrer Wärme und ihrer chemischen Wirkung, so findet man, daß die Wärme vom Violett nach dem Roth hin zunimmt und etwas über das Roth hinaus, wo unser Auge kein Licht mehr wahrnimmt, am stärksten ist. Dagegen sind die chemischen Wirkungen im Blau und Violett stärker als in den übrigen Farben, und auch noch jenseits des Violett bemerkbar. Es müssen also sowohl jenseits des Roth wie des Violett Lichtstrahlen liegen, die unser Auge nicht wahrnimmt. Man nennt diese Strahlen dunkle Lichtstrahlen. Der Grund, warum wir diese Strahlen nicht wahrnehmen, ist folgender: Die verschiedenfarbigen Lichtstrahlen haben verschiedene Wellenlänge (und darum verschiedene Brechbarkeit); die Empfindung der verschiedenen Farben wird also in unserm Auge durch die Verschiedenheit der Lichtwellen-Länge so hervorgebracht, wie in unserem Ohre die Verschiedenheit der Tonhöhe durch die Verschiedenheit der Länge der Schallwellen erzeugt wird. Die Empfindung des Roth wird durch die längsten, Violett durch die kürzesten Lichtwellen erzeugt. (Die Lichtstrahlen von der längsten Wellenlänge werden am wenigsten, die von der kürzesten am stärksten gebrochen.) So wie nun unser Ohr nur Töne wahrnehmen kann, deren Wellenlänge gewisse Grenzen nicht überschreitet (siehe § 74 am Ende), so darf auch die Länge der Lichtwellen weder zu groß noch zu klein sein, wenn sie unser Auge soll wahrnehmen können. Die dunkeln Lichtstrahlen jenseits des Violett haben also für unser Auge eine zu geringe, die jenseits des Roth eine zu große Wellenlänge. [§ 106. Dunkle Lichtstrahlen.]

Hat man auf einem weißen Papierschirme einen breiten Streifen mehrmals mit einer wässerigen Lösung von schwefelsaurem Chinin bestrichen, der man einige Tropfen Schwefelsäure zugesetzt hat, und fängt mit diesem Schirme das durch ein Flintglas-Prisma erzeugte Spectrum so auf, daß die eine Längshälfte desselben auf den Chininstreifen, die andere daneben fällt, so ist die auf dem Chininstreifen liegende Hälfte des Spectrums vom Roth bis zum Blau mit der andern [Fluorescenz.]

Hälfte ganz übereinstimmend, aber der blaue und violette Theil erscheint wie mit zerstreutem Lichte bedeckt, nämlich bläulich-weiß; und dieses bläulich-weiße Licht erstreckt sich weit über die Grenze des Violett in der andern Hälfte des Spectrums. Die Erscheinung findet darin ihre Erklärung, daß die Chininlösung einen Theil des dunkeln, des violetten und des blauen Lichtes in weißes Licht, d. h. in alle Arten Licht verwandelt hat, welche das weiße Licht enthält; denn wenn man das horizontale, auf dem Chininstreifen liegende Spectrum durch ein horizontal gehaltenes Prisma betrachtet, so wird das bläulich-weiße Licht in alle Farben des gewöhnlichen Spectrums zerlegt, was mit den übrigen Farben und den Farben eines gewöhnlichen Spectrums nicht der Fall ist.

Die Chininlösung verwandelt also Licht von größerer Brechbarkeit in Licht von geringerer Brechbarkeit, oder, was dasselbe ist, Licht von geringerer Wellenlänge in Licht von größerer Wellenlänge, weshalb nun das wegen zu geringer Wellenlänge unsichtbare Licht sichtbar wird. Diese Eigenschaft der Chininlösung nennt man Fluorescenz.

Die Fluorescenz ist aber nicht blos der Chininlösung, sondern auch noch anderen Substanzen eigen, z. B. einer Weingeistlösung von Curcuma-Wurzel, Blattgrün, Lakmus, Rinde der Roßkastanie, dem Petroleum, ebenso dem Annaglase, d. i. Glas, welches mit Uran grün gefärbt ist. Auch zeigt nicht blos das blaue oder violette Licht des Flintglas-Spectrums, sondern auch auf manche andere Weise erzeugtes blaues und violettes Licht die Erscheinung der Fluorescenz. Läßt man z. B. Lichtstrahlen, welche durch Cobaltglas gegangen sind, in ein dunkles Zimmer fallen, so erscheinen sie, mit weißem Papier aufgefangen, blau; dagegen wird Papier, welches mit Chininlösung bestrichen ist, durch sie hell erleuchtet. Annaglas leuchtet in ihnen mit schöner grüner Farbe, und läßt man die blauen Strahlen zum Theil durch solches Glas hindurch, zum Theil bei ihm vorbeigehen und fängt sie auf einer weißen Fläche auf, so wird diese von den durch das Glas gegangenen Strahlen heller erleuchtet, als von den anderen. Ebenso erscheinen in dem blauen Lichte des Cobaltglases weiße Blumen blau, während gelbe und braune Blumen in überraschend schöner rother Farbe leuchten.

Daraus, daß die fluorescirenden Gegenstände in dem Lichte des Cobaltglases weit heller erscheinen als andere, geht hervor, daß das Cobaltglas auch eine Menge von unsichtbaren Strahlen durchläßt. Solche unsichtbare Strahlen enthält auch die Weingeistflamme, die Wasserstoffflamme und das elektrische Licht, besonders das im luftleeren Raume.

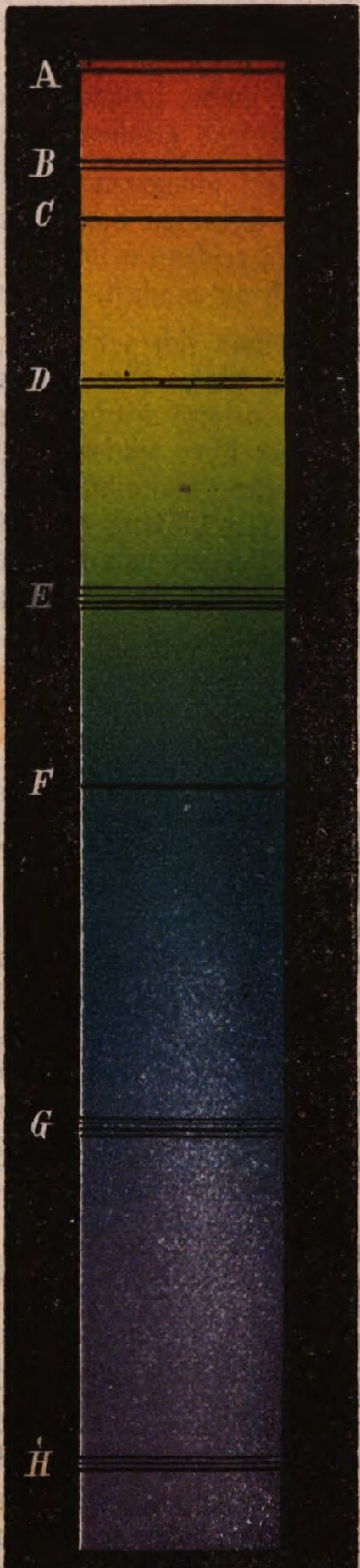
§ 107. Fraunhofer'sche Linien im Sonnen-Spectrum.

§ 107. Die im § 103 angegebene Methode, das Sonnen-Spectrum zu erzeugen, kann kein reines Spectrum geben; denn da Lichtstrahlen von höher und tiefer gelegenen Punkten der Sonnenscheibe, also in verschiedener Richtung auf das Prisma fallen, so entstehen eigentlich mehrere Spectra, von denen die gleichen Farben nicht genau auf einander fallen.

Ein reines Spectrum erhält man vermittelst des Fig. 156 dargestellten Instrumentes: Auf einem Stative A ruht in horizontaler Lage ein Messingrohr ab, welches bei a durch eine mit einem verticalen Spalt versehene Metallscheibe, bei b durch eine Convexlinse von so großer Brennweite verschlossen ist, daß der Spalt bei a innerhalb derselben liegt, c ist ein Flintglasprisma, df ein Fernrohr. Richtet man das Rohr ab durch eine Oeffnung eines verdunkelten Zimmers gegen die Sonnenscheibe oder den hellen Himmel (von dem auch zerstreutes Sonnenlicht ausgeht), so kreuzen sich die von den verschiedenen Punkten der Sonnenscheibe oder des hellen Himmels kommenden Strahlen in dem Spalte und fallen daher divergirend so auf die Linse bei b, als ob sie von einer weißen, in dem Spalte stehenden Lichtlinie herkämen. Durch die Linse bei b werden sie so gebrochen, daß ein Auge hinter denselben die Lichtlinie in sehr großer Entfernung sehen würde, und einem Auge hinter dem Prisma c würde sie als Spectrum erscheinen. Durch das Fernrohr fd gesehen erscheint dieses Spectrum in der Nähe und vergrößert.

In diesem Spectrum erblickt man eine Menge dunkler Linien (Fig. 155), welche zwar unregelmäßig vertheilt sind, aber immer an derselben Stelle erscheinen, wenn man auch Prismen von verschiedenen Stoffen oder verschieden großem brechenden Winkel anwendet. Es müssen daher diese Linien dem Sonnenlichte eigenthümlich sein, was dadurch bestätigt wird, daß das Spectrum von anderen Fixsternen andere, und von einer Gas- oder Kerzenflamme gar keine solche Linien zeigt. Diese Linien wurden zuerst von Wollaston 1802 und später von

Fig. 155.



Fraunhofer beobachtet, welcher die wichtigsten derselben mit den in der Figur angegebenen Buchstaben bezeichnete. Von ihm haben sie auch den Namen Fraunhofer'sche Linien. Je vollkommener die Instrumente sind, desto mehr solcher Linien sieht man. Fraunhofer hat z. B. mehrere Tausend gesehen.

Da diese schwarzen Linien Lichtlücken des Spectrums sind, so müssen die Strahlen von denjenigen Farbentönen, welche an der Stelle dieser Linien erscheinen sollten, um den Farben-Uebergang im Spectrum continuirlich zu machen, in dem Sonnenlichte fehlen.

Spectral-Analyse.

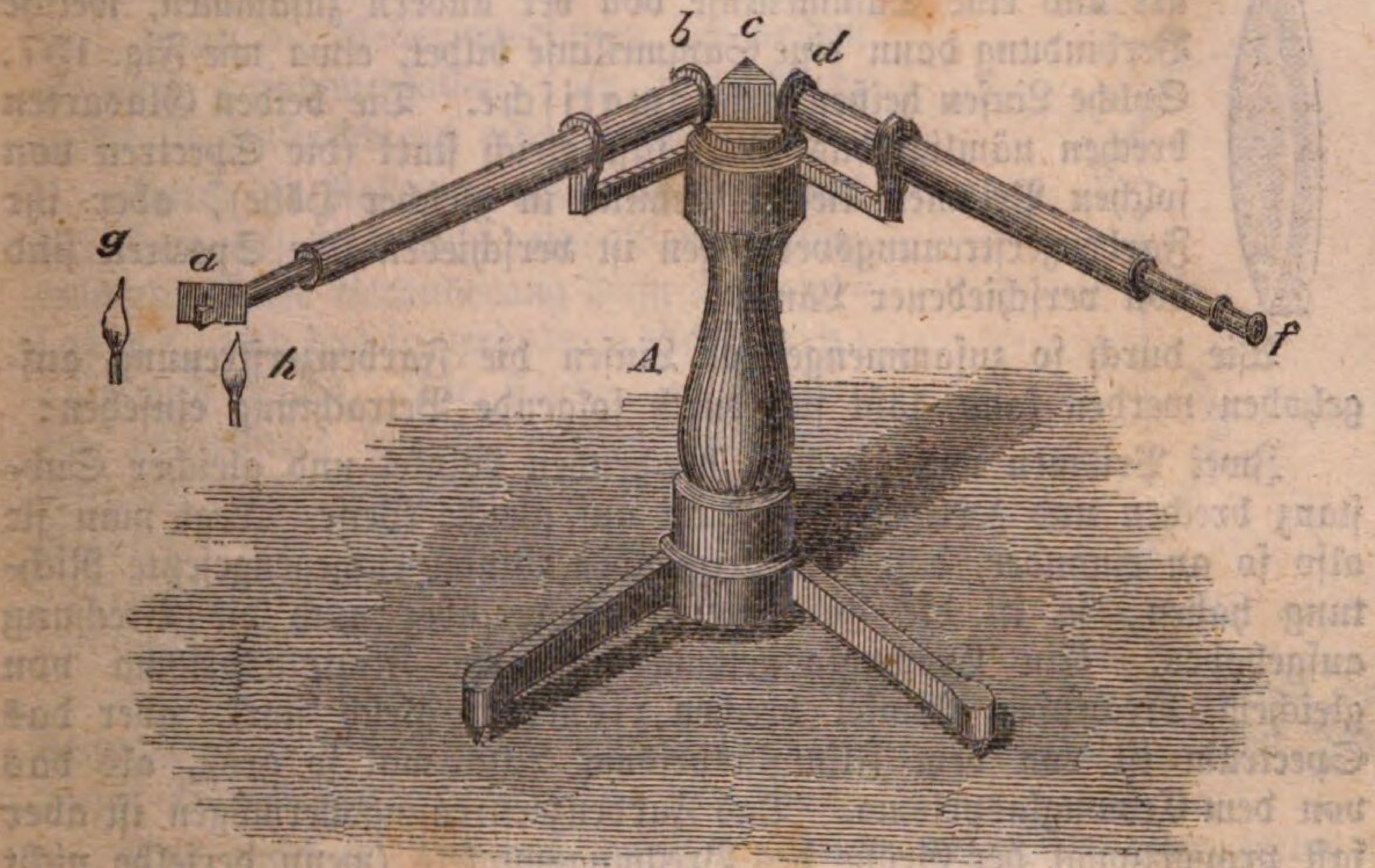
Wenn man sich zur Erzeugung des Spectrums anstatt des Sonnenlichtes einer Gas- oder hellen Oelflamme bedient, so erhält man ein Spectrum, welches mit dem des Sonnenlichtes im Wesentlichen übereinstimmt, aber ohne Linien; nimmt man aber eine Spiritus- oder eine mattleuchtende Gasflamme, welche man erhält, wenn man der Flamme einen stärkeren Luftzug zuführt, so erscheint anstatt des Spectrums ein schwarzer Streifen (ein dunkles Spectrum). Sobald nun die geringste Quantität irgend einer flüchtigen Metallverbindung (z. B. Chlormetall) in der Flamme verdampft, so sieht man in dem dunkeln Spectrum einen oder einige Lichtstreifen, und zwar an der Stelle, wo im Sonnen-Spectrum Fraunhofer'sche Linien stehen, und von der Farbe, in welcher die betreffende Fraunhofer'sche Linie im Spectrum steht. Verdampft z. B. Kochsalz in der dunkeln Flamme, so erscheint ein gelber Streifen da, wo die Fraunhofer'sche Linie im Gelb steht. Lithion giebt eine Linie im Roth, Thallium eine im Grün. Und so zeigt jedes Metall, welches direct oder in einer Verbindung in der Flamme verdampft, selbst in der allergeringsten Quantität seine bestimmten besonderen Licht-Linien, so daß man in diesen Versuchen ein gutes Mittel besitzt, die metallischen Bestandtheile eines Körpers zu erkennen.

Zur Darstellung dieser Erscheinungen dient ebenfalls der durch Fig. 156 dargestellte Apparat, nur ist zu diesem Zwecke die Hälfte des Spaltes bei a durch ein dreiseitiges rechtwinkliges Prisma geschlossen, welches dazu dient, die von einer seitwärts stehenden Flamme h ausgehenden Strahlen durch totale Reflexion an einer seiner Innenseiten auf die Linse b zu senden, also blos die Stelle eines Spiegels vertritt. Stellt man nun direct vor den Spalt eine dunkle Flamme g, so fallen deren Strahlen durch die offene Spalthälfte auf die Linse bei b und erfüllen die Hälfte des Gesichtsfeldes im Fernrohre mit einem dunklen Spectrum, während in der anderen durch die Strahlen der hellen Flamme ein gewöhnliches Spectrum (aber ohne Fraunhofer'sche Linien) erzeugt wird. Läßt man nun irgend ein Metall in der dunkeln Flamme verdampfen, indem man einen befeuchteten Platindraht in eine flüchtige Metallverbindung taucht und dann in die Flamme hält, so erscheint in dem dunkeln Spectrum die betreffende helle Linie, deren Stelle in dem hellen Spectrum, da man ein solches zugleich im Gesichtsfelde hat, man nun erkennen kann.

Betrachtet man in der oben angegebenen Weise vermittelst des Fernrohres das wirkliche Sonnenspectrum, läßt aber das Sonnenlicht durch eine mit irgend einem Metalldampfe erfüllte dunkle Flamme gehen, indem man eine solche unmittelbar vor das Fernrohr stellt, so erscheint die-

jenige Fraunhofer'sche Linie (oder Linien), an deren Stelle im dunkeln Spectrum der dem Metalle eigenthümliche Streifen (oder die Streifen)

Fig. 156.



entsteht, noch dunkeler, als ohne jene Flamme. Daraus folgt, daß die glühenden Dämpfe, obgleich sie selbst leuchten (Licht aussenden) doch mehr Sonnenlicht von der betreffenden Farbe absorbiren, als sie selbst solches Licht ausstrahlen. (Diese Erscheinung hat nichts Ueberraschendes, da man eine ähnliche Erscheinung auch bei jeder Kerzen- oder Oel-Flamme beobachten kann; denn obwohl diese selbst leuchten, werfen sie doch im Sonnenlichte einen Schatten.) Daher glaubt man sich zu dem Schlusse berechtigt, daß die Fraunhofer'schen Linien darin ihren Grund haben, daß die Sonnen-Atmosphäre eine Menge verschiedener Metalldämpfe enthalte, welche die Strahlen von gewissen Farbentönen mehr absorbiren, als ausstrahlen. Ist dieser Schluß richtig, so haben wir in den oben beschriebenen Versuchen ein Mittel, zu erkennen, welche von den irdischen Metallen in der Sonnen-Atmosphäre in Dampfform vorhanden, und also auch Bestandtheile des Sonnenkörpers sind.

Die genauere Kenntniß der hier angeführten Erscheinungen und Gesetze verdanken wir hauptsächlich den in neuester Zeit von Bunsen und Kirchhoff ausgeführten mühevollen Untersuchungen.

§ 108. Da die verschiedenen Farben des weißen Lichtes verschieden stark gebrochen werden, so muß auch bei jeder Brechung eine Farbenzerstreuung stattfinden. Es können also die von einem Punkte ausgehenden Strahlen durch eine Convexlinse nie wieder ganz in einen Punkt vereinigt werden; daher kommt es, daß alle durch gewöhnliche Linsen erzeugten Bilder zum Theil verwaschen und mit farbigen Rändern erscheinen. Dieser Uebelstand läßt sich dadurch beseitigen, daß

§ 108. Achromatische Linsen.

man Linsen aus zwei verschiedenen Glasarten, nämlich aus Crownglas (Kiesel, Kali) und Flintglas (Kiesel, Kali, Bleioxyd) zusammensetzt.

Fig. 157.



Man legt nämlich eine Zerstreuungslinse von der einen Glasart und eine Sammellinse von der andern zusammen, welche Verbindung dann eine Sammellinse bildet, etwa wie Fig. 157. Solche Linsen heißen achromatische. Die beiden Glasarten brechen nämlich das Licht fast gleich stark (die Spectren von solchen Prismen liegen ziemlich in gleicher Höhe), aber ihr Farbenzerstreuungsvermögen ist verschieden (die Spectren sind von verschiedener Länge).

Wie durch so zusammengesetzte Linsen die Farbenzerstreuung aufgehoben werden kann, läßt sich durch folgende Betrachtung einsehen:

Zwei Prismen von gleichem brechenden Winkel und gleicher Substanz brechen und zerlegen das Licht auf gleiche Weise. Legt man sie also so an einander, daß ihre brechenden Winkel entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Farbenzerstreuung, aber auch die Brechung aufgehoben. Ein Crownglasprisma und ein Flintglasprisma von gleichem brechenden Winkel brechen ziemlich gleich stark, aber das Spectrum ist von dem Flintglasprisma 2,089 mal so groß, als das von dem Crownglasprisma. Das Farbenzerstreuungsvermögen ist aber fast proportional der Größe des Brechungswinkels (wenn derselbe nicht gar zu groß ist), daher giebt ein Flintglasprisma ein gleich großes Spectrum mit einem Crownglasprisma, wenn der brechende Winkel des ersteren 2,089 mal so klein ist, als der des letzteren. Legt man daher ein Crownglasprisma, dessen brechender Winkel $= 25^0$, und ein Flintglasprisma, dessen brechender Winkel $= \frac{25^0}{2{,}089}$, d. i. von $11^0\ 58'$, so zusammen, daß die brechenden Winkel entgegengesetzte Richtung haben, so ist die Farbenzerstreuung aufgehoben, aber eine Brechung ist noch da, weil die beiden äußeren Flächen convergiren und beide Glasarten in Beziehung auf Brechung wie einerlei Substanz wirken.

Die oben angeführten Versuche über die Zerlegung des Lichtes, sowie die daraus gezogenen Folgerungen verdanken wir Newton. Dolland in England verfertigte das erste achromatische Fernrohr 1758. Fraunhofer vervollkommnete die achromatischen Fernröhre.

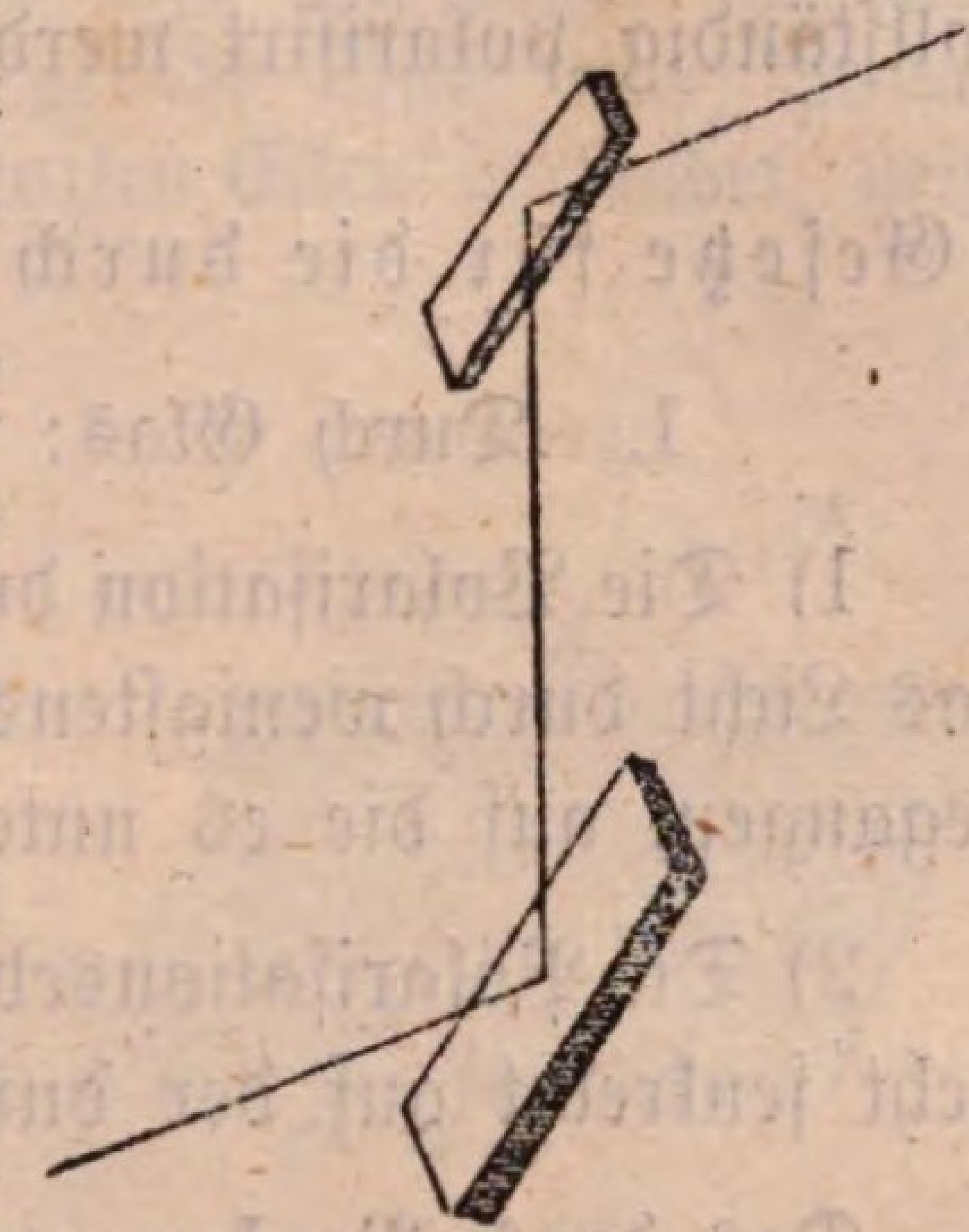
H. Polarisation.

§ 109. Erscheinung der Polarisation durch Reflexion.

§ 109. Fällt ein Lichtstrahl auf eine hinten geschwärzte und daher einen Spiegel bildende Glastafel, und man dreht diese so um den auffallenden Strahl, daß dieser immer denselben Winkel mit dem Spiegel bildet, so wird der Strahl in allen Lagen des Spiegels gleich gut zurückgeworfen. Läßt man aber den so zurückgeworfenen Strahl (Fig. 158) von einer zweiten eben solchen Glastafel reflectiren, und dreht diese auf die oben angegebene Weise, so wird der Strahl nicht wieder in allen Lagen gleich gut zurückgeworfen, sondern am besten,

wenn der zweite Spiegel dem ersten parallel steht, oder aus der parallelen Lage um 180° herumgedreht worden ist, am schlechtesten, wenn man ihn um 90° oder 270° gedreht hat. Die zweite Reflexion ist also am stärksten, wenn die Reflexionsebenen der beiden Spiegel zusammenfallen, am schwächsten, wenn sie senkrecht auf einander stehen.

Fig. 158.



Polarisations-Ebene, -Spiegel, Zerlegungsspiegel, Polarisations-Winkel.

Durch die Reflexion vom ersten Spiegel hat demnach das Licht eine Veränderung erlitten. Diese Veränderung heißt **Polarisation**, und das so veränderte Licht **polarisirtes Licht**. Die Ebene, in welcher ein polarisirter Strahl wieder vollständig reflectirt wird, heißt seine **Polarisations-Ebene**. Der erste Spiegel heißt **Polarisationsspiegel**, der zweite **Zerlegungsspiegel** oder **Analyseur**.

Die Polarisation ist hierbei am stärksten, wenn der Lichtstrahl auf beide Spiegel unter einem Winkel von 35° 25′ auffällt. Daher heißt dieser Winkel **Polarisations-Winkel**.

Auch durch Brechung wird das Licht polarisirt.

Das Licht erleidet auch durch Brechung, besonders aber, wenn es durch Krystalle, z. B. durch Turmalin, in einer gewissen Richtung hindurch geht, eine Polarisation. Denn wenn ein Lichtstrahl durch mehrere über einander gelegte Glasplatten, auf welche er unter einem Winkel von 35° auffiel, oder senkrecht durch eine Turmalinplatte, deren Flächen parallel der krystallographischen Hauptachse sind, hindurchgegangen ist, so wird er ebenfalls von einem Spiegel, den man in der oben angegebenen Weise um diesen Strahl herumdreht, nicht in allen Lagen desselben gleich gut reflectirt.

Polarisationsgesetze bei der Reflexion,

Gesetze für die durch Reflexion bewirkte Polarisation.

1) Die Reflexionsebene eines Strahles ist zugleich seine Polarisationsebene (wie aus dem oben angeführten Versuche hervorgeht).

2) Alle spiegelnden Flächen, außer den metallischen, polarisiren das Licht.

Selbst das durch unregelmäßige Reflexion zerstreute Licht ist wenigstens theilweise polarisirt. Davon kann man sich z. B. überzeugen, wenn man den durch den hellen Himmel oder die Sonne auf einer gefirnißten Tischplatte erzeugten Lichtstreifen durch **eine** Turmalinplatte des Instrumentes Fig. 159 betrachtet und dieselbe dreht; das Gesichtsfeld wird dann abwechselnd hell und dunkel.

3) Jeder Körper hat seinen eigenen Polarisationswinkel, und zwar ist es derjenige, bei welchem der reflectirte Strahl auf dem gebrochenen senkrecht steht.

4) Da nun die verschiedenen farbigen Strahlen, aus denen das weiße Licht besteht, verschieden stark gebrochen werden, also verschiedene Polarisationswinkel haben, so kann das weiße Licht nie vollständig polarisirt werden.

bei der Refraction durch Glas,

Gesetze für die durch Brechung bewirkte Polarisation.

I. Durch Glas:

1) Die Polarisation durch Glas erfolgt nur dann merklich, wenn das Licht durch wenigstens 8—10 über einander gelegte Glasplatten gegangen, auf die es unter einem Winkel von 35° eingefallen ist.

2) Die Polarisationsebene des durch Brechung polarisirten Lichtes steht senkrecht auf der durch Reflexion polarisirten.

Das durch Brechung polarisirte Licht wird also von einem Spiegel am vollständigsten zurückgeworfen, wenn dessen Reflexionsebene auf der Brechungsebene senkrecht steht, am schlechtesten, wenn Reflexions- und Brechungsebene zusammenfallen.

durch Turmalinplatten.

II. Durch Turmalinplatten:

Die Platte, mit der man Polarisations-Versuche anstellen will, muß so geschliffen sein, daß ihre beiden Flächen der krystallographischen Hauptachse parallel sind.

1) Die Polarisationsebene steht senkrecht auf der krystallographischen Hauptachse.

Fig. 159.



Soll also das durch eine Turmalinplatte polarisirte Licht von einem Spiegel vollständig reflectirt werden, so muß dessen Reflexionsebene senkrecht auf der krystallographischen Hauptachse stehen; liegt die Hauptachse in der Reflexionsebene, so wird kein Licht reflectirt. Hieraus läßt sich schließen und der Versuch bestätigt es:

2) Zwei Turmalinplatten, wenn sie so über einander gelegt sind, daß ihre Hauptachsen senkrecht auf einander stehen, lassen kein Licht durch; liegen ihre Hauptachsen aber parallel, so geht das Licht so gut durch, als es die Färbung der Platten erlaubt. Es können daher zwei solche Platten als Polarisations-Apparat gebraucht werden. (Fig. 159.)

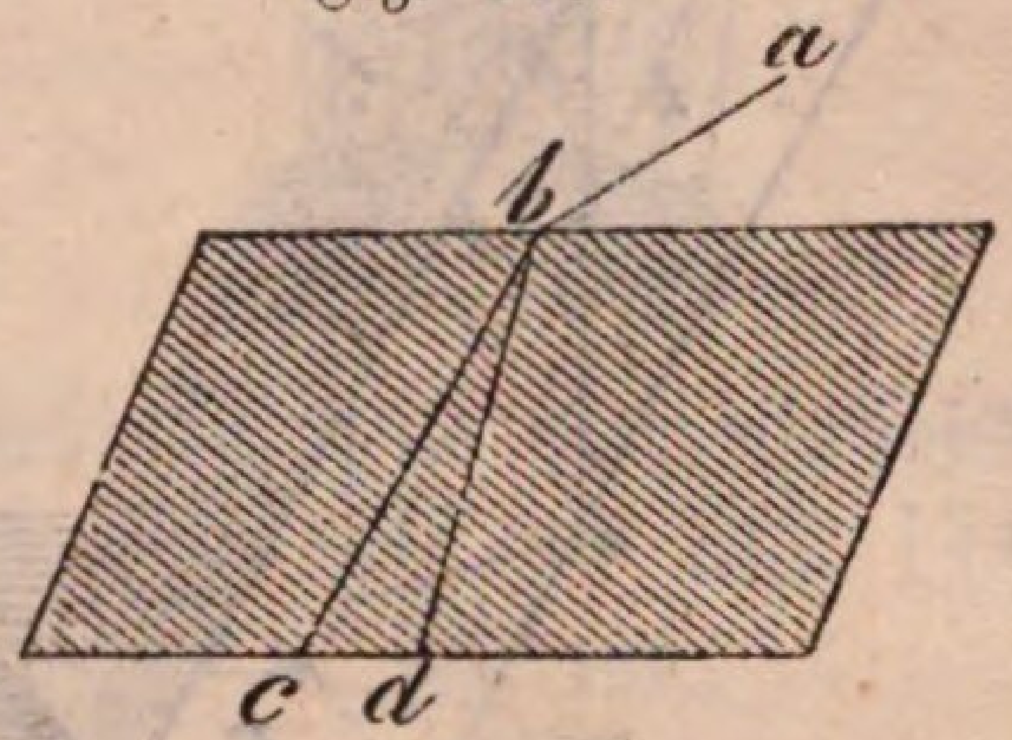
Die Polarisation wurde von Malus in Frankreich 1808 entdeckt.

J. Doppelte Brechung.

§ 110. Der Doppelspath, krystallisirter kohlensaurer Kalk, ist nach drei Richtungen hin sehr leicht spaltbar; es läßt sich daher aus ihm leicht ein Rhomboëder bilden. Diejenige gerade Linie nun, welche die zwei von lauter stumpfen Winkeln begrenzten Ecken verbindet, heißt Hauptachse. § 110. Erscheinung der doppelten Brechung am Doppelspath.

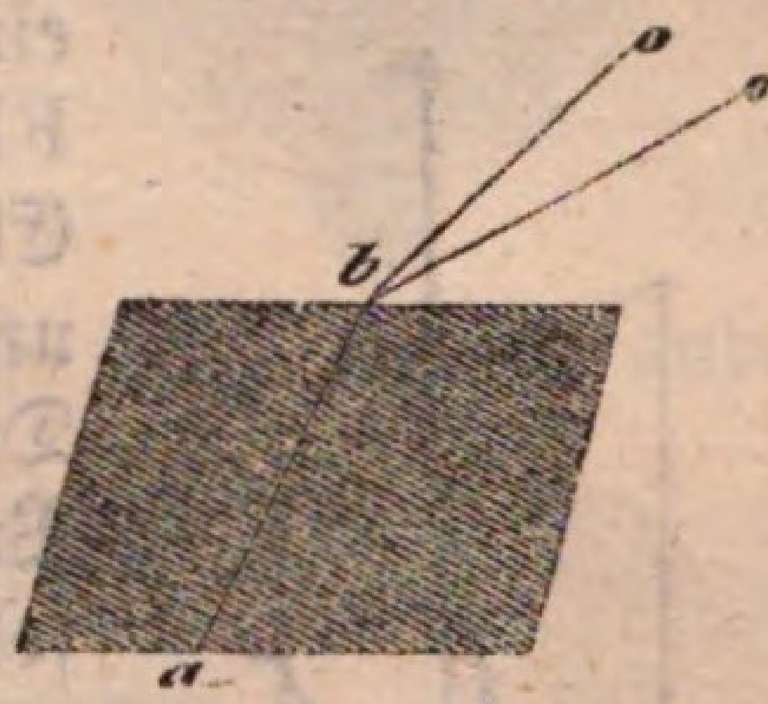
Legt man auf die eine Fläche eines solchen Rhomboëders (Fig. 160) ein Kartenblatt, das eine ganz feine Oeffnung b hat, und läßt auf diese Licht fallen, so sieht man auf der gegenüberliegenden, mit dünnem Papier überzogenen Fläche zwei Lichtpunkte, c und d. Daraus geht hervor, daß der Lichtstrahl bei seinem Eintritte in den Krystall in zwei Strahlen zertheilt worden ist.

Fig. 160.



Macht man einen Punkt a auf ein Blatt Papier und legt das Rhomboëder darauf (Fig. 161), so sieht man durch eine in ein aufgelegtes Kartenblatt gemachte Oeffnung zwei Punkte, und zwar nur in zwei bestimmten Richtungen ob und o'b. Daraus geht hervor, daß auch beim Austreten aus dem Krystall der Lichtstrahl sich in zwei Theile theilt.

Fig. 161.



Bestimmt man für die beiden gebrochenen Strahlen den Brechungs-Exponenten, so findet man für den am stärksten gebrochenen stets denselben Werth, nämlich 1,654, für den andern aber bald einen größern, bald einen kleinern Werth, je nachdem die Richtung des einfallenden Strahles sich der der Hauptachse mehr nähert, oder mehr von ihr abweicht. Geht er in der Richtung der Hauptachse (bei welchem Versuche man einen Kalkspathkörper anwenden muß, von dem zwei Flächen senkrecht auf der Hauptachse stehen und zwei andere parallel derselben sind), so ist der Brechungs-Exponent ebenfalls = 1,654; steht er senkrecht auf ihr = 1,483. In ersterem Falle findet keine doppelte Brechung statt. Ordinärer, extraordinärer Strahl.

Der Strahl, dessen Brechungs-Exponent stets gleich bleibt, heißt ordinärer, der andere extraordinärer Strahl.

Doppelte Brechung zeigt nicht blos der Kalkspath, sondern alle Krystalle, welche nicht zum regulären Krystallsysteme gehören.

Die Entdeckung der doppelten Brechung machte Bartolin in Kopenhagen 1669.

§ 111. Betrachtet man die beiden von einem Kalkspathkrystall erzeugten Bilder durch eine polarisirende Turmalinplatte und dreht diese in ihrer Ebene um 360° herum, so wird bald das eine schwächer und verschwindet, bald das andere, und zwar so, daß stets das eine am deutlichsten, wenn das andere verschwunden ist. § 111. Beide Strahlen polarisirt.

Daraus geht hervor, daß die Strahlen beider Bilder polarisirt sind, und daß die Polarisationsebenen derselben senkrecht auf einander stehen.

Nicol'sches Prisma.

Da das durch einen Kalkspathkrystall gegangene Licht polarisirt ist, so lassen sich zwei solche Krystalle ebenso wie zwei Turmalinplatten als Polarisations-Apparat benutzen, und ein solcher ist dem von Turmalinplatten gebildeten weit vorzuziehen, da der Kalkspath wegen seiner Farblosigkeit weit hellere Bilder giebt. Aber es muß hier ein besonderer Kunstgriff angewendet werden, um das eine der durch die Doppelbrechung erzeugten zwei Bilder zu beseitigen. Er besteht in Folgendem: Es sei Fig. 162 ein Kalkspath-Prisma, b und c seine stumpfen Ecken, so bilden die Kanten kk mit den Flächen FF einen Winkel von 71°. Die Flächen FF werden nun so weit abgeschliffen, daß die Kanten kk nur noch einen Winkel von 68° mit ihnen bilden: dann wird das Prisma in zwei Stücke geschnitten durch einen Schnitt ss, welcher senkrecht zu den Ebenen FF und auch senkrecht zu der durch kk gelegten Ebene ist; darauf werden die Schnittflächen polirt und mittelst Canada-Balsam wieder zusammengekittet. Die Seitenflächen werden nun geschwärzt und das Prisma mit einer Messingfassung versehen. Ein solches Prisma heißt **Nicol'sches Prisma**.

Fig. 162.

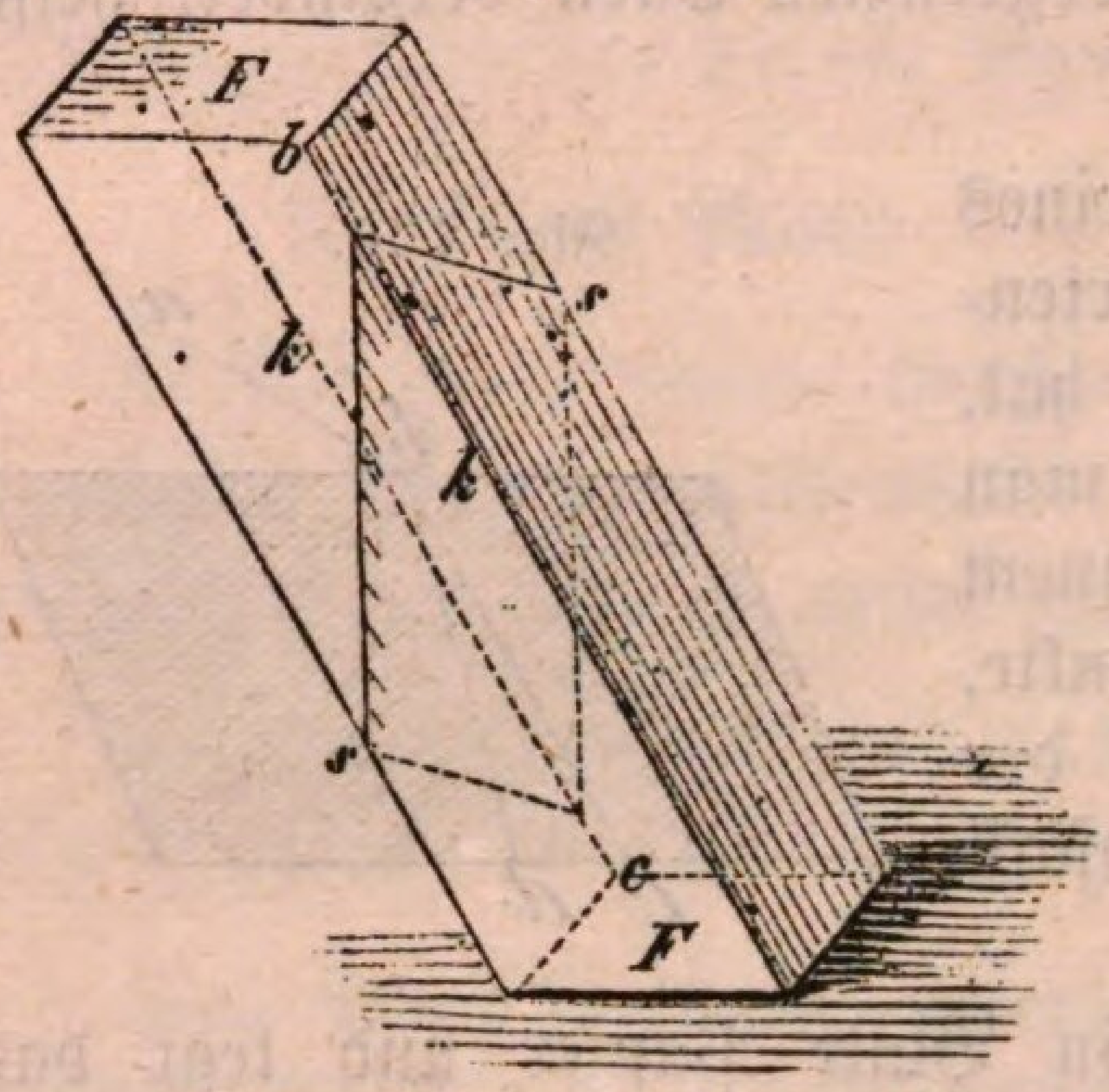


Fig. 163.

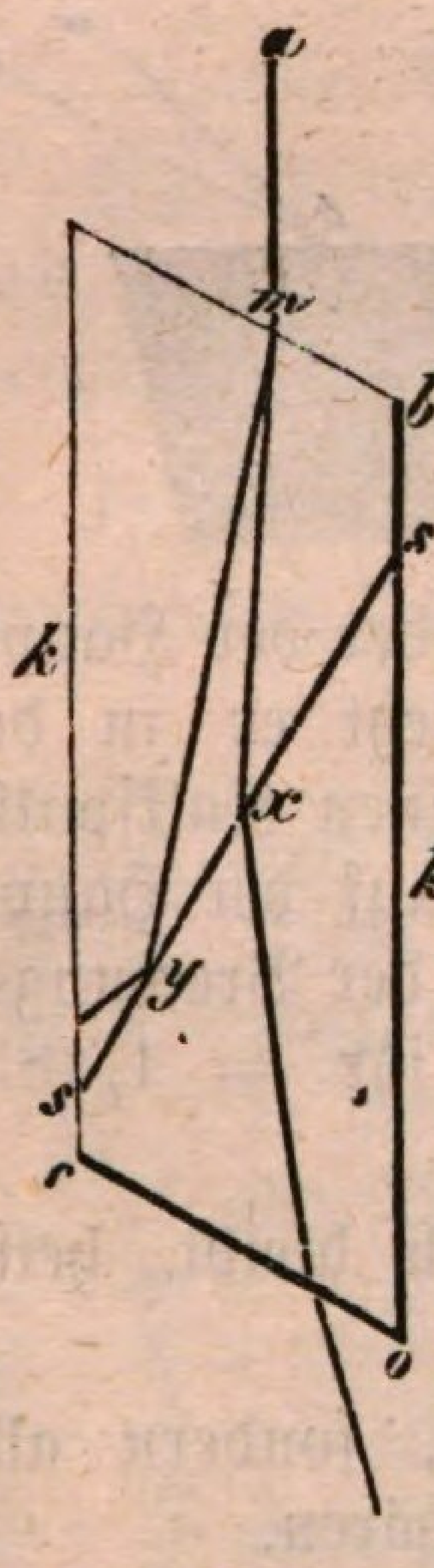


Fig. 163 sei ein durch die Kanten kk gelegter Durchschnitt des Nicol'schen Prisma's. Fällt ein Lichtstrahl am auf die Fläche F, so wird dieser in den ordinären Strahl my und in den extraordinären mx zerlegt. Auf der Canadabalsamschicht, die das Licht sehr stark bricht, erleiden die Strahlen wieder eine Brechung, und der ordinäre Strahl, der diese Schicht sehr schief trifft, erleidet an ihrer unteren Fläche eine totale Reflexion, gelangt also nicht zur Fläche F, während der extraordinäre Strahl durch dieselbe hindurchgeht. Das vor die Fläche co gehaltene Auge sieht daher nur **ein** Bild.

§ 112. Farben-Erscheinungen des polarisirten Lichtes

§ 112. Legt man eine Platte eines doppeltbrechenden Krystalls, welche eine gewisse Dicke hat, und deren Flächen senkrecht auf der optischen Achse stehen, zwischen die beiden Spiegel eines Polarisations-Apparates oder zwischen zwei polarisirende Turmalinplatten, so zeigt sich ein farbiges Ringsystem. Z. B. Salpeter giebt die Fig. 164,

welche bei Drehung des Analyseurs durch Fig. 165 in Fig. 166 übergeht, Doppelspath die Figuren 167 und 168, Arragonit die Fig. 169.

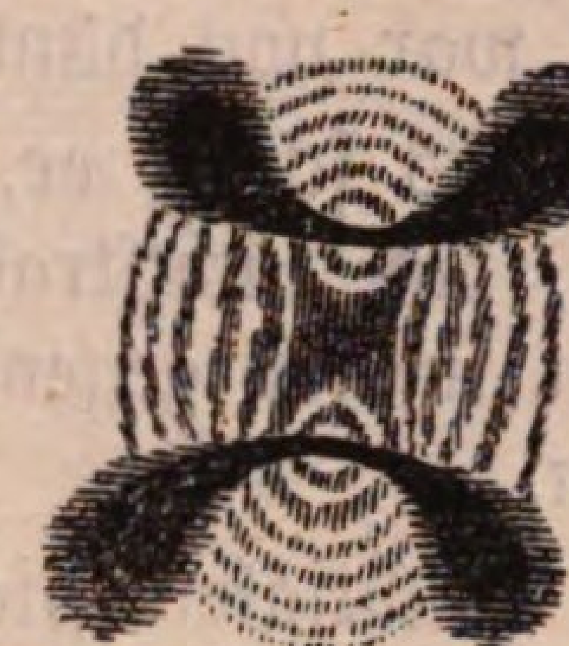
Fig. 164.



Fig. 165.



Fig. 166.



Eine Platte von schnell gekühltem Glase giebt in dem Polarisations-Apparate ebenfalls farbige Figuren, nämlich Fig. 170 und Fig. 171,

Fig. 167.



Fig. 168.

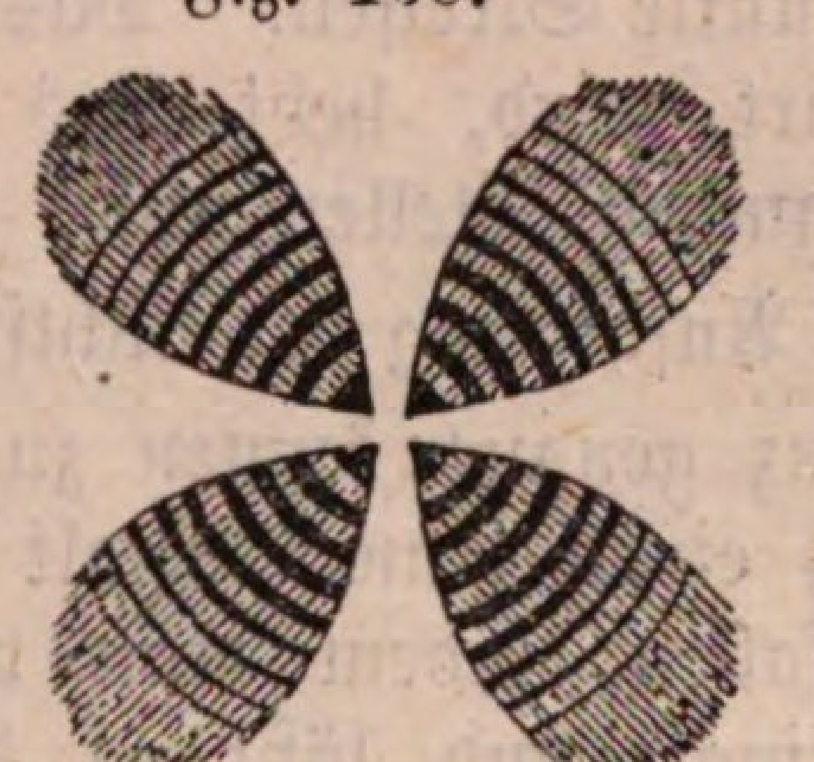
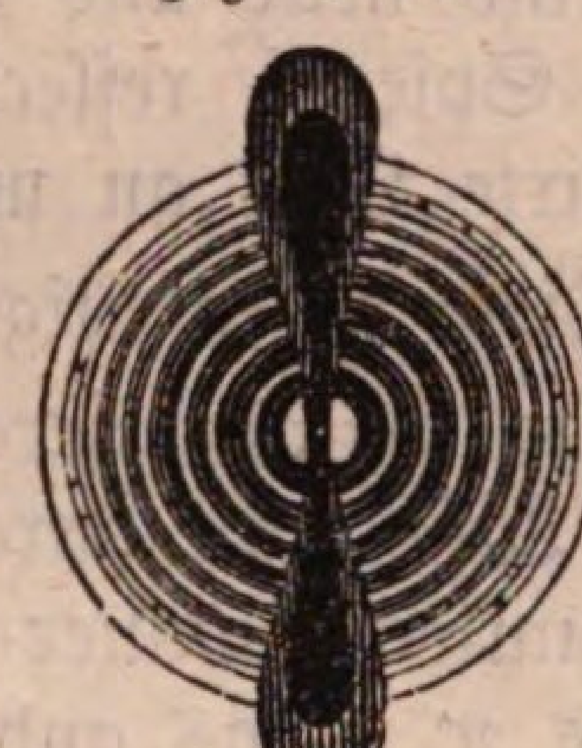


Fig. 169.



aber es zeigen verschiedene Glasplatten, je nach ihrer Härte, andere Figuren.

Fig. 170.

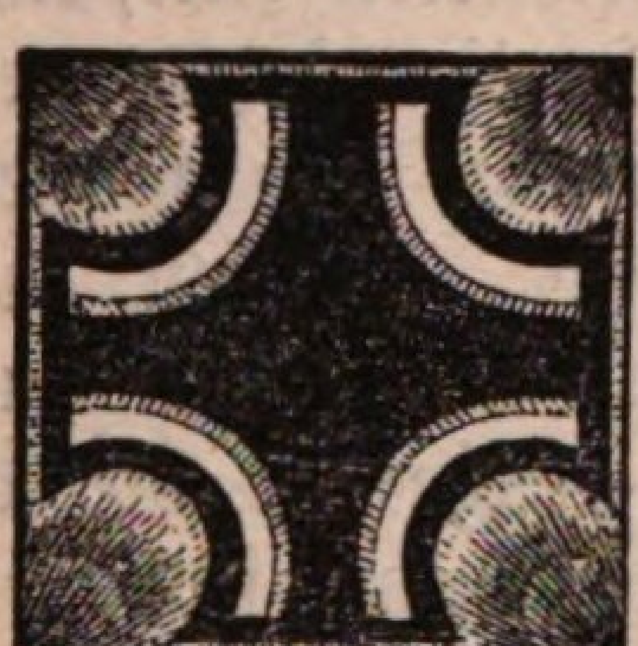


Fig. 171.



K. Beugung und Interferenz.

§ 113. Der Jesuit Grimaldi fand gegen Ende des 17. Jahrhunderts, daß, wenn er durch einen feinen Spalt Licht in ein dunkles Zimmer fallen ließ, die erleuchtete Stelle größer war, als man nach der Richtung der einfallenden Strahlen hätte erwarten sollen. Er erkannte hieraus, daß das Licht, wenn es an den Rändern von undurchsichtigen Körpern vorübergeht, von seinem geradlinigen Wege abgelenkt wird. Diese Ablenkung nennt man **Beugung** oder **Inflexion** des Lichtes. Auch bemerkte er an den Rändern des erleuchteten Raumes farbige Säume. § 113. Inflexions-,

Interferenz-Erscheinung.

Ließ er durch zwei feine, dicht neben einander befindliche Oeffnungen Licht in das dunkle Zimmer fallen und fing es auf weißem Papier in einer solchen Entfernung auf, daß sich die beiden hellen Kreise zum Theil deckten, so fand er, daß an der Stelle, welche von beiden Oeffnungen Licht erhielt, wie sich erwarten ließ, größere Helligkeit war; aber sie war von dunkeln Streifen unterbrochen.

Hieraus schloß er, und es wurde später durch Young's Versuche bestätigt, daß Lichtstrahlen, welche von derselben Lichtquelle ausgehen, sich nicht immer gegenseitig verstärken, sondern sich in gewissen Fällen aufheben.

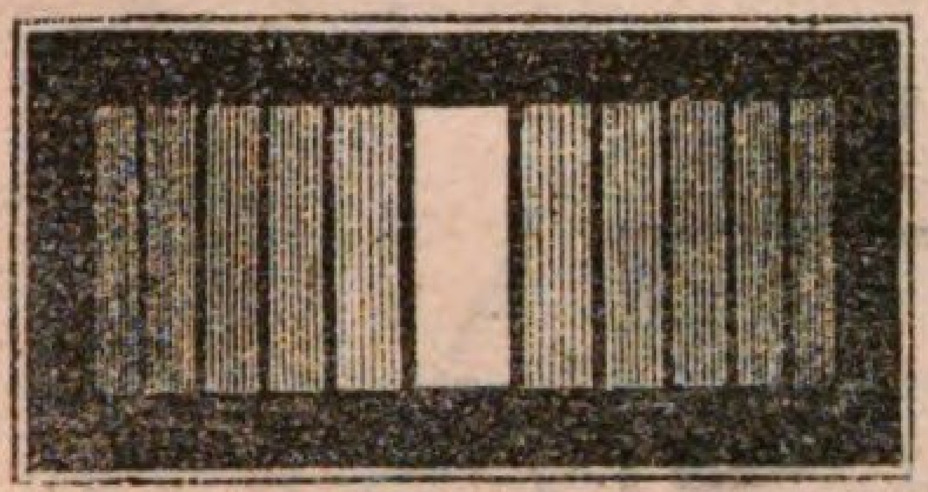
Die Richtigkeit dieses Gesetzes läßt sich durch folgenden Versuch darthun: Zwei Spiegel werden vertical so neben einander gestellt, daß sie einen sehr stumpfen Winkel mit einander bilden. Fällt nun Licht von einem Lichtpunkt auf dieselben, so zeigt das reflectirte Licht abwechselnd helle und dunkle Streifen. Das Licht also, welches von dem einen Spiegel reflectirt wird, hebt das von dem andern Spiegel reflectirte Licht an manchen Stellen auf.

Diese gegenseitige Aufhebung der Lichtstrahlen heißt Interferenz.

Interferenzversuch.

Um die Interferenz genauer kennen zu lernen, dient folgender Versuch: Läßt man durch einen feinen Spalt rothes, grünes Licht &c. in ein dunkles Zimmer fallen, indem man vor dem Spalte ein rothes, grünes &c. Glas anbringt, und läßt es dann in einiger Entfernung wieder durch einen andern Spalt gehen, so entsteht auf einem dahinter gestellten Papierschirme nicht, wie man wegen der Beugung des Lichtes erwarten sollte, ein einfacher rother, grüner &c. Streifen, sondern es entsteht, wegen der Interferenz, ein solcher Streifen, der durch dunkle Streifen unterbrochen ist. (Fig. 172.) Läßt man das farbige Glas weg, so daß weißes Licht einfällt, so erscheinen die dunkeln Streifen farbig, woraus hervorgeht, daß die Interferenz für die einzelnen farbigen Strahlen, aus denen das weiße Licht besteht, an verschiedenen Stellen stattfindet.

Fig. 172.



Aus diesen Gesetzen lassen sich folgende Erscheinungen erklären: Sieht man am Rande eines undurchsichtigen Körpers, etwa nahe am Mützenschirme vorbei nach dem Monde, einem Sterne oder einer entfernten Lichtflamme, so erscheinen diese Gegenstände farbig. — Die Strahlen der Sonne, welche durch einen dichtbelaubten Baum in unser Auge fallen, erscheinen in den Regenbogenfarben. — Sieht man durch ein feines Gewebe, etwa durch Flor, nach einer Lichtflamme, so erscheint in dem Gewebe in der Richtung der Fäden ein helles Kreuz. — Eine polirte Platte mit vielen feinen Rissen erzeugt Farbenerscheinungen. — Bestreut man einen Spiegel mit semen lycopodii und stellt in einer Entfernung von einigen Metern zwei Lichtflammen so auf, daß man zwischen Spiegel und Flammen stehend beide zugleich im Spiegel sieht, so erblickt man prächtige Farbenbogen. — Die Farben der Seifenblasen. — Oel auf Wasser gegossen erzeugt Regenbogenfarben. — Die Farben auf faulem

Wasser, auf alten Fensterscheiben, auf Perlmutter. — Das Flimmern der Fixsterne, wobei sowohl die Lichtstärke wie die Farbe derselben wechselt. Die Planeten flimmern nicht, weil wir sie als Scheiben sehen, und daher die zur Interferenz kommenden Strahlen des einen Punktes durch die nicht interferirenden Strahlen der anderen Punkte ersetzt werden.

L. Optische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 114. 1) Die blaue Farbe des Himmels. Die Atmosphäre erscheint uns, wie schon früher angeführt, deshalb blau, weil sie nicht vollkommen durchsichtig ist und vorzugsweise das blaue Licht reflectirt. Sie ist ein blaues Gas. § 114. Die blaue Farbe des Himmels.

Wäre sie vollkommen durchsichtig, so hätten wir einen schwarzen Himmel und könnten die Sterne auch am Tage sehen. Auf hohen Bergen erscheint derselbe sehr dunkelblau, fast schwarz.

Durch die verdichteten Wasserdünste wird dies reine Blau des Himmels gebleicht.

Warum erscheint derselbe in den südlichen Gegenden tiefer blau, als bei uns? Warum im Winter meist bleicher, als im Sommer?

2) Die Morgen- und Abendröthe rührt von den in der Luft enthaltenen Wasserdünsten her, welche in einem gewissen Stadium des Ueberganges aus dem luftförmigen in den flüssigen Zustand die Eigenthümlichkeit haben, besonders die orangerothen Strahlen der Sonne durchzulassen. Morgen- und Abendröthe.

Der aus einer Locomotive ausströmende Dampf ist unmittelbar über dem Ventile vollkommen durchsichtig; in einiger Höhe darüber erscheint er, wenn die Sonne hindurchscheint, orangeroth, in noch größerer Entfernung bildet er undurchsichtige Wolken. (Durch weißes Milchglas gesehen, erscheint eine Lichtflamme ebenfalls roth.)

3) Die Morgen- und Abenddämmerung entsteht dadurch, daß die Sonne, bevor sie über unsern Horizont kommt, die Luft und die in ihr befindlichen Wasserdünste erleuchtet und diese das empfangene Licht zu uns reflectiren. Bei uns dauert die Dämmerung ungefähr so lange, als die Sonne sich weniger als 18° unter dem Horizonte befindet. Die Dämmerung.

In den Aequatorialgegenden dauert die Dämmerung sehr kurze Zeit. Im Sommer dauert sie bei uns die ganze Nacht hindurch. Warum?

4) Der Regenbogen. Einen Regenbogen sieht man, wenn man vor sich eine regnende Wolke und hinter sich die Sonne hat. Er bildet einen Kreisbogen, dessen Mittelpunkt in der von dem Mittelpunkt der Sonne durch das Auge des Beobachters gezogenen geraden Linie liegt, also einen größeren oder kleineren Kreisbogen, je nachdem die Sonne höher oder niedriger steht. Einen Halbkreis bildet er, wenn die Sonne im Horizonte steht; der Radius desselben erscheint unter einem Winkel von ungefähr 42 Grad. Die Farben liegen von dem äußern nach dem innern Umfange in der Ordnung: roth, orange, gelb, grün, blau, violett. Ueber dem Hauptregenbogen befindet sich noch ein Nebenregenbogen, dessen Farben in umgekehrter Ordnung liegen. Der Regenbogen.

Erklärung. Das Sonnenlicht muß, da der Regenbogen der Sonne gegenübersteht, eine Reflexion, und da es in Farben zerlegt ist, auch eine Refraction erleiden und da man einen Regenbogen auch in den fallenden Tropfen eines Springbrunnens und eines Wasserfalles sieht, so muß diese Reflexion und Refraction in den Regentropfen stattfinden.

Erklärung des Hauptregenbogens.

Ein Sonnenstrahl ab (Fig. 173), welcher vom Mittelpunkte der Sonne ausgeht und der den Mittelpunkt eines Regentropfens trifft, wird ungebrochen durchgehen. Ein anderer aber, welcher in einer gewissen Entfernung von diesem Strahl auffällt, etwa sg (die Sonnenstrahlen sind parallel), wird beim Eintritt in den Tropfen gebrochen, an der Hinterseite reflectirt und beim Austritte nochmals gebrochen, so daß er den Weg sgrxo nimmt. Befindet sich nun in o das Auge, so wird es von diesem Tropfen Licht erhalten, welches reflectirt und gebrochen ist. Alle Strahlen, welche in derselben Entfernung vom Punkte k, also in einem Kreise auf den Tropfen auffallen,

Fig. 173.

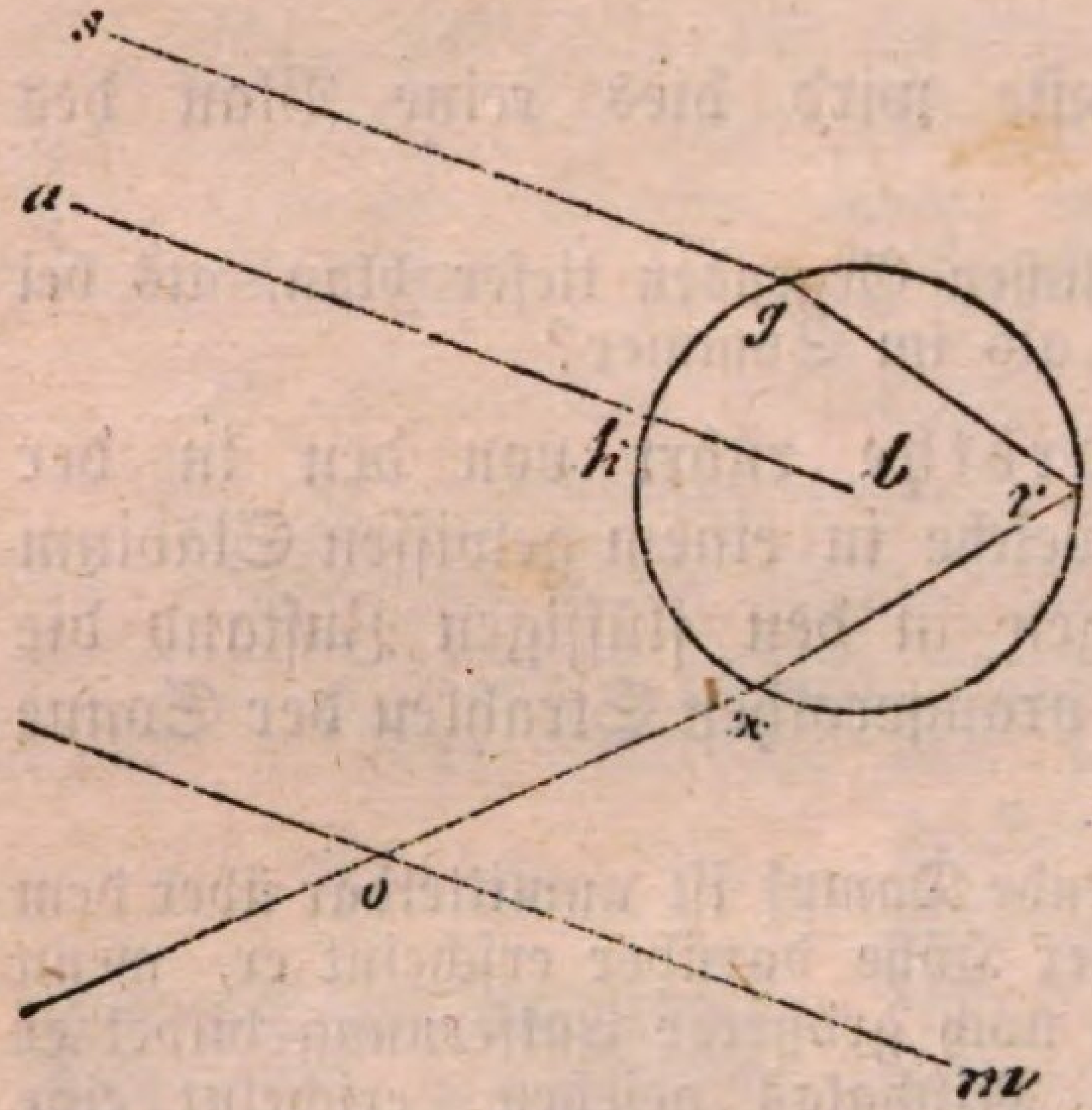
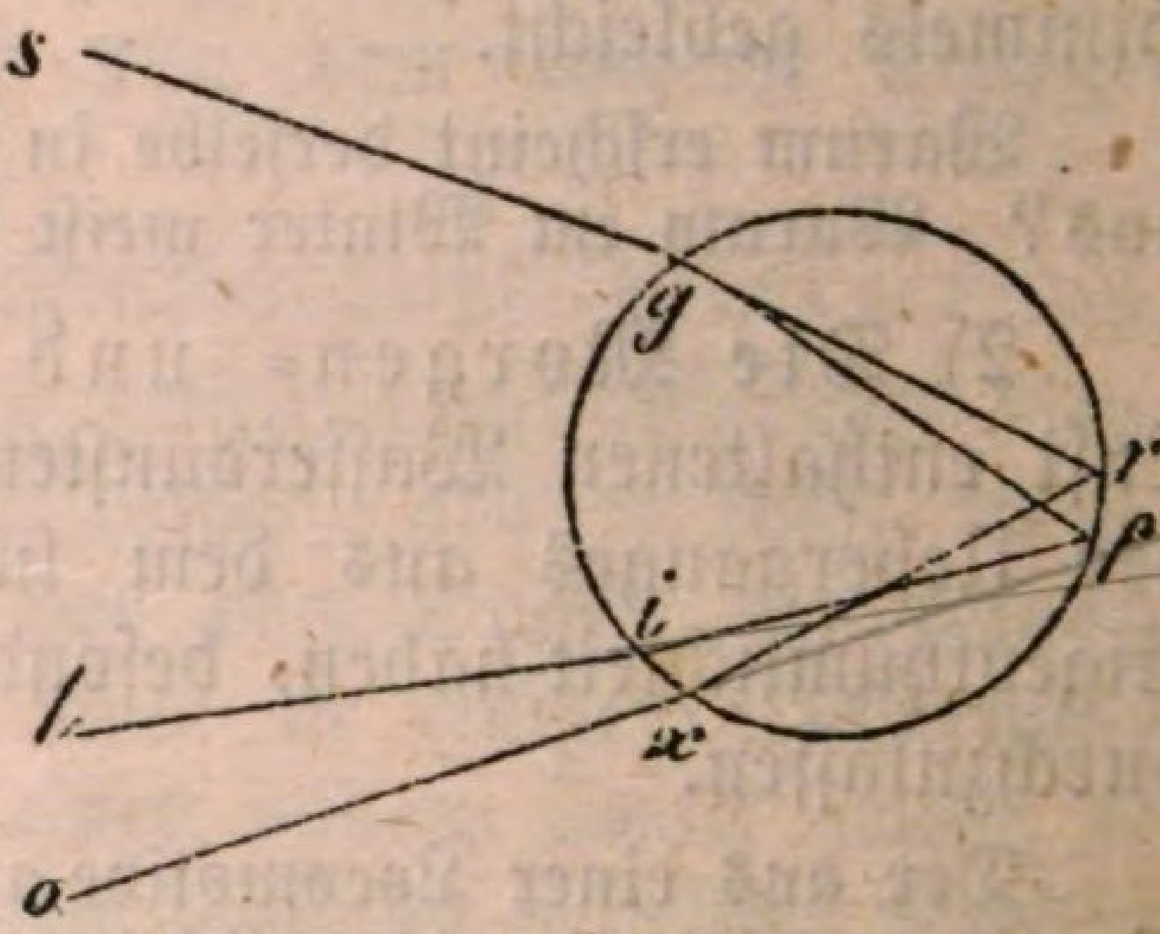


Fig. 174.



werden, weil sie unter demselben Winkel die Oberfläche des Tropfens treffen, in derselben Weise gebrochen und reflectirt. Es müssen also diese Strahlen, von dem Tropfen zurückgeworfen, die Mantelfläche eines Kegels bilden. Was für den einen Tropfen gilt, gilt auch für alle übrigen. Das Auge wird nun von allen den Regentropfen Licht erhalten, in deren Strahlenmantelfläche es zu gleicher Zeit liegt, und das sind diejenigen, welche von der Linie ox getroffen werden, wenn sie sich so um die Linie om, d. i. die Verbindungslinie des Sonnenmittelpunktes mit dem Auge, bewegt, daß sie mit dieser immer denselben Winkel xom bildet. (Dies läßt sich anschaulich machen, wenn man die Linien ox und om durch Drähte darstellt und an ox einen Hohlkegel von Pappe so befestigt, daß ox in der Mantelfläche desselben liegt.)

Hieraus ist klar, warum der Regenbogen einen Kreis bildet, dessen Mittelpunkt in om liegt, und zweitens warum er desto heller erscheint, je dicker die Tropfenwand ist, welche die Wolke entsendet. Die Größe des Winkels xom hängt ab von dem Brechungsvermögen des Wassers und der Entfernung des Strahles sg von ak. Dieser Winkel ist der Sehwinkel für den Radius des Regenbogens, und da derselbe, wie die Beobachtung lehrt, = 42° ist, so läßt sich schließen, daß wir nur von Strahlen, welche in einer bestimmten Entfernung von ak den Tropfen treffen, einen bemerkbaren Lichteindruck empfangen, die andern Strahlen aber, welche in einer andern Entfernung von ak auf den Tropfen fallen, von diesem so ungünstig für das Auge zurückgeworfen werden, daß wir sie nicht bemerken. Doch davon weiter unten. Da der Mittelpunkt des Regenbogens in om liegt, so sehen wir, wenn die Sonne im

Horizont steht, einen Halbkreis, steht sie höher, einen kleineren Bogen, und steht sie höher als 42° über dem Horizonte, so ist gar kein Regenbogen sichtbar.

Da das Licht bei der Brechung eine Farbenzerstreuung erleidet, so muß der Regenbogen farbig erscheinen. Bezeichnet nun (Fig. 174) sgrxo den Weg des rothen Lichtes, so wird der violette Strahl, da er stärker gebrochen wird, etwa den Weg sgfil nehmen, der violette Theil des Regenbogens muß also, wie sich aus der Richtung von ox und li ergiebt, tiefer erscheinen, als der rothe, und zwischen ihnen müssen, nach der Stärke ihrer Brechbarkeit geordnet, die anderen Farben liegen.

Erklärung des Neben-Regenbogens.

Von dem Nebenregenbogen nimmt man an, daß er durch eine zweimalige Reflexion im Innern der Regentropfen entstehe, so daß die Sonnenstrahlen den Weg (Fig. 175) sgrr'xo nehmen. Aus der Richtung xo ergiebt sich, warum der Nebenregenbogen höher erscheinen muß, als der Hauptbogen.

Fig. 175.

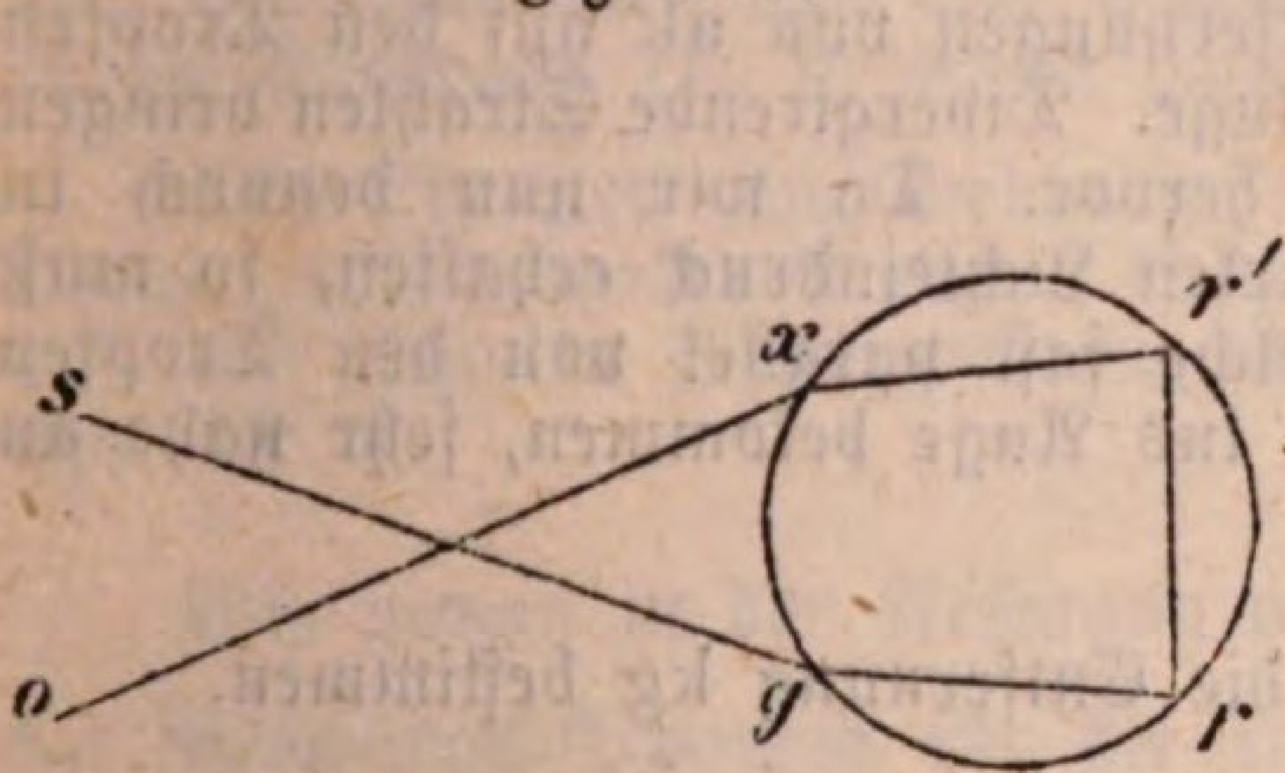
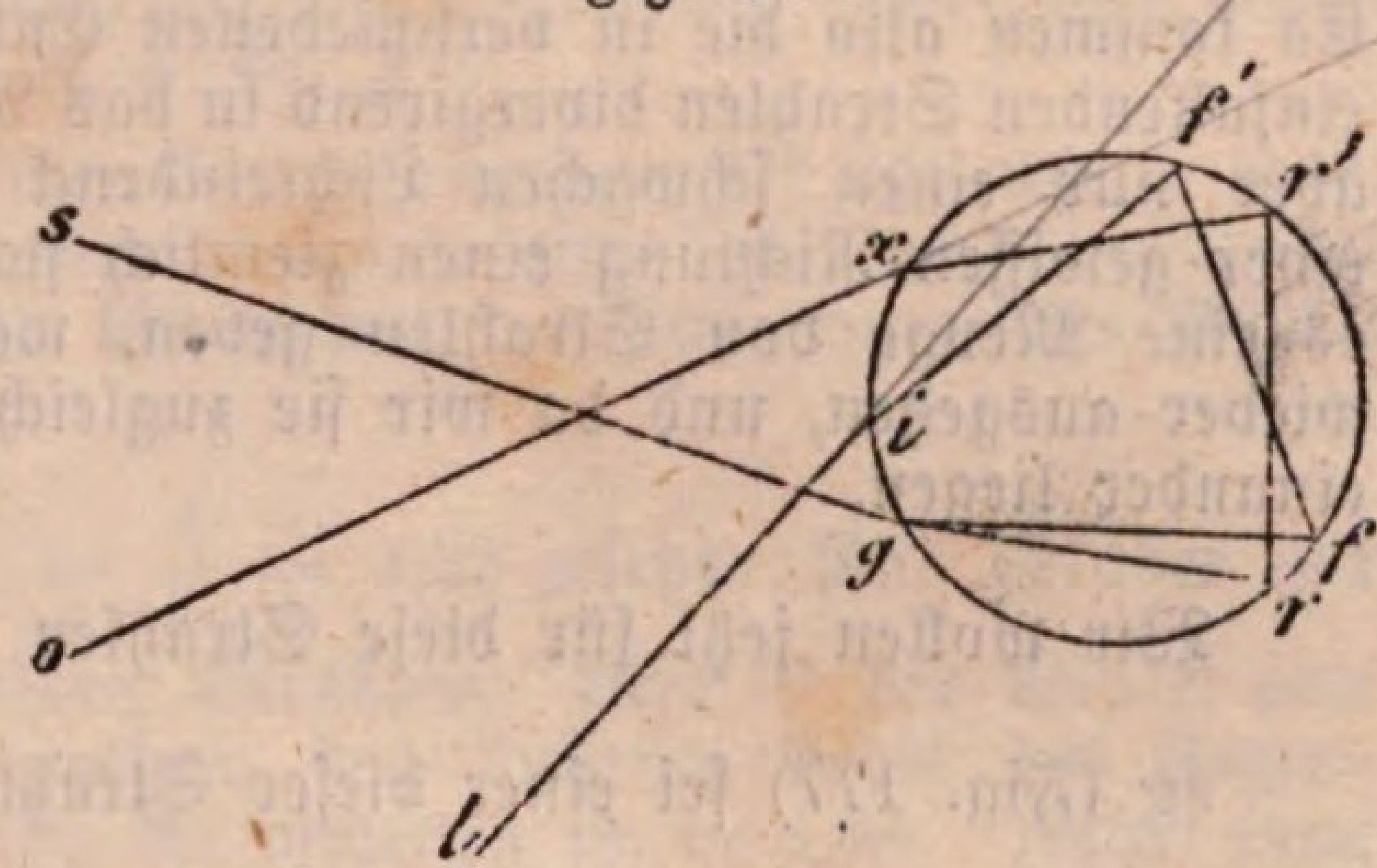
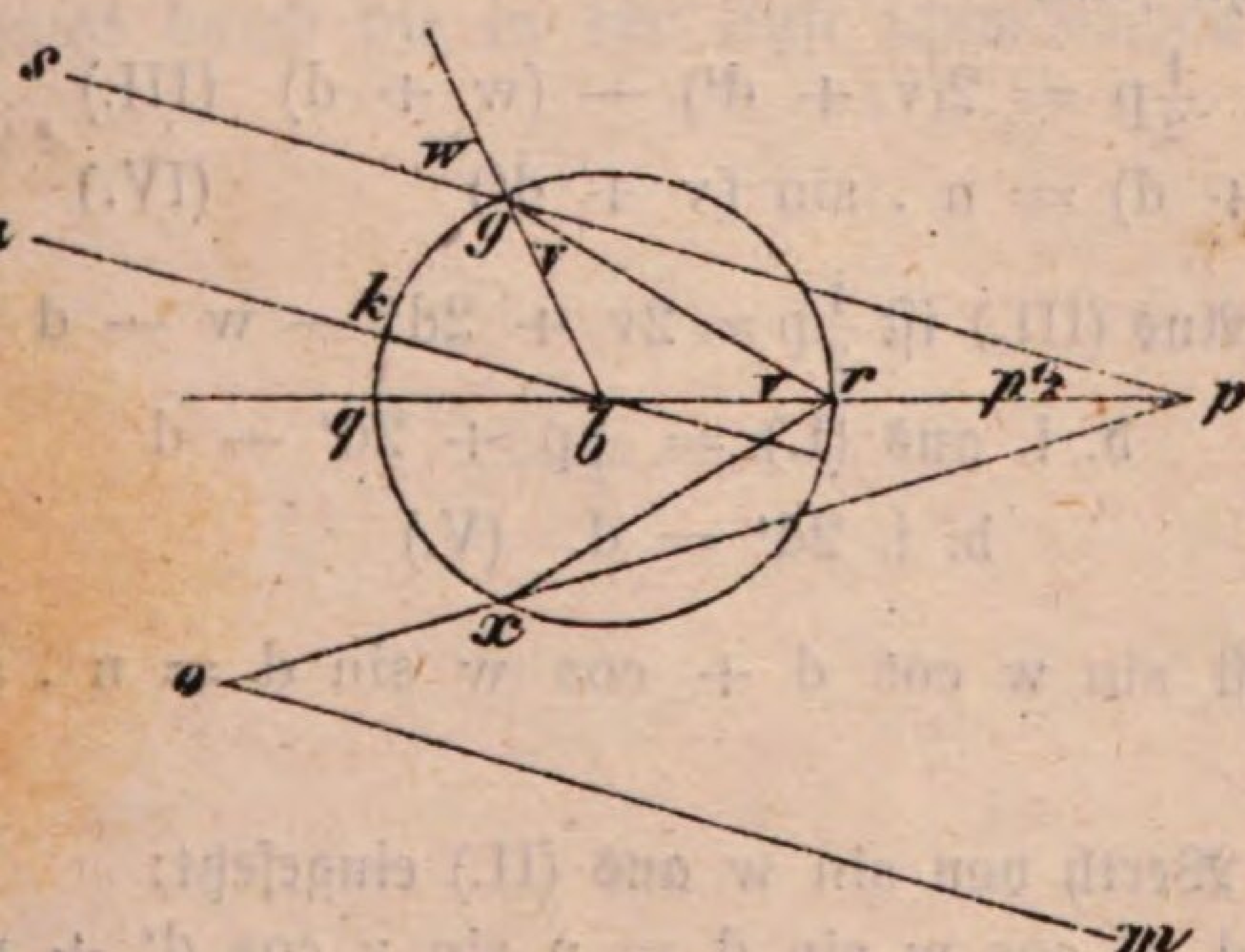


Fig. 176.



Bezeichnet man (Fig. 176) sgrr'xo den Weg des rothen Strahles, so wird der violette etwa den Weg sgff'il nehmen. Aus der Richtung li ergiebt sich, warum das Violett im Nebenregenbogen oben, also am äußern Umfange erscheint. (Von den Masten der Schiffe und von Berggipfeln soll man bisweilen den Regenbogen als vollständigen Kreis sehen.)

Fig. 177.



Berechnung des Radius und der Breite des Regenbogens.

Berechnung des Radius und der Breite des Regenbogens. Da (Fig. 177 und Fig. 173) om $\parallel$ sg, so ist $\angle$ mox = dem Winkel, welchen sg und ox mit einander bilden, wenn man sie bis zu ihrem Durchschnittspunkte p verlängert, = spo. (Beweise, daß sich sg und ox schneiden müssen.) Da die Größe dieses Winkels abhängig ist von dem Bogen kg und dem Brechungs-Exponenten zwischen Luft und Wasser, so läßt sie sich aus diesen beiden Größen berechnen. Nämlich: Ziehe die Einfallslothe bg und br, verlängere br, so trifft diese Verlängerung den Punkt p und halbirt den Winkel p. (Beweise dies.)

$$
\begin{aligned}
\text{Dann ist } \angle\, qbg &= 2v \\
\text{und auch } &= \tfrac{1}{2}p + pgb \\
&= \tfrac{1}{2}p + w \\
\hline
\text{folglich } \quad 2v &= \tfrac{1}{2}p + w \\
\text{d. i. } \quad \tfrac{1}{2}p &= 2v - w.
\end{aligned}
$$

Nun ist aber $\angle\, w = \angle\, kbg = $ Bg. kg und v läßt sich ebenfalls durch kg ausdrücken; denn es ist $\sin w = n \,.\, \sin v$, wo n den Brechungs-Exponenten zwischen Luft und Wasser bezeichnet; also $\sin v = \frac{1}{n} \sin w = \frac{1}{n} \sin kg$. Mit der Größe von kg ändert sich demnach auch $\angle\, p$ und also auch $\angle\, xom$. Es kommen also die in verschiedenen Entfernungen von ak auf den Tropfen einfallenden Strahlen divergirend in das Auge. Divergirende Strahlen bringen aber nur einen schwachen Lichteindruck hervor. Da wir nun dennoch in einer gewissen Richtung einen ziemlich starken Lichteindruck erhalten, so muß es eine Menge von Strahlen geben, welche fast parallel von den Tropfen wieder ausgehen, und da wir sie zugleich ins Auge bekommen, sehr nahe an einander liegen.

Wir wollen jetzt für diese Strahlen die Entfernung kg bestimmen.

sg (Fig. 177) sei einer dieser Strahlen; für ihn ist

$$\tfrac{1}{2}p = 2v - w \quad (I.)$$
$$\text{und } \sin w = n \,.\, \sin v \quad (II.)$$

Für einen andern sehr nahe neben ihm einfallenden Strahl werde aus w $w + d$ und aus v $v + d'$, und p muß, da der Strahl parallel mit sg einfällt und parallel mit xo wieder austreten soll, unverändert bleiben. Es muß daher für ihn sein:

$$\tfrac{1}{2}p = 2(v + d') - (w + d) \quad (III.)$$
$$\text{und } \sin (w + d) = n \,.\, \sin (v + d') \quad (IV.)$$

$$
\begin{aligned}
\text{Aus (III.) ist } \tfrac{1}{2}p &= 2v + 2d' - w - d \\
\text{d. i. aus (I.) } &= \tfrac{1}{2}p + 2d' - d \\
\text{d. i. } 2d' &= d. \quad (V.)
\end{aligned}
$$

Aus (IV.) ist $\sin w \cos d + \cos w \sin d = n \,.\, \sin v \cos d' + n \cos v \sin d'$.

Hierein den Werth von sin w aus (II.) eingesetzt:

$$n \,.\, \sin v \cos d + \cos w \sin d = n \sin v \cos d' + n \cos v \sin d'.$$

Da der zweite Strahl sehr nahe an dem ersten liegen soll, so kann man setzen:

$$\sin d = d \text{ und } \cos d = 1.$$
$$\sin d' = d' \text{ und } \cos d' = 1.$$

Dann ist $n \sin v + d \,.\, \cos w = n \sin v + nd' \,.\, \cos v$,

$$\text{d. i. } d \cos w = n\, d' \,.\, \cos v$$

und aus Gleichung V den Werth von d eingesetzt:

$$2d' \cos w = n\, d' \cos v$$

d. i. $2 \cos w = n \cos v$

also $4 \cos w^2 = n^2 . \cos v^2$

ferner aus II $\sin w^2 = n^2 \sin v^2$

addirt: $4 \cos w^2 + \sin w^2 = n^2$

$$4 \cos w^2 + 1 - \cos w^2 = n^2$$

d. i. $\cos w = \sqrt{\frac{n^2 - 1}{3}}$

Da nun $n = \frac{4}{3}$, so ist $\cos w = \sqrt{\frac{7}{27}}$

$$w = 59^0\ 24' = kg.$$

Berechnet man nun aus Gleichung (II) den Werth von v und setzt diesen in die Gleichung (I), so erhält man $p = 42^0\ 2'$.

Alle Strahlen also, welche in einer Entfernung von $59^0\ 24'$ und in einer etwas größeren oder kleineren Entfernung von k einfallen, werden parallel von den Tropfen zurückgeworfen und bilden mit der Linie om einen Winkel von $42^0\ 2'$.

Wir hatten in der Rechnung $n = \frac{4}{3} = 1{,}33$ gesetzt. Das ist aber nur der Brechungs-Exponent für die rothen Strahlen. Also ist der Winkel von $42^0\ 2'$ nur der Sehwinkel für den rothen, den äußeren Kreis des Regenbogens. Der Brechungs-Exponent für die violetten ist = 1,34. Führt man diesen Werth für n ein, so erhält man $p = 40^0\ 16'$, und dieses ist der Sehwinkel für den Radius des violetten Kreises. Folglich hat der Regenbogen eine Breite von $42^0\ 2' - 40^0\ 16'$ oder genauer, weil die Sonne nicht ein Punkt, sondern eine Scheibe von 30' Durchmesser ist, eine Breite von $42^0\ 2' - 40^0\ 17' + 30'$ d. i. $2^0\ 16'$.

5) **Die Höfe um den Mond hält man für Interferenz-Erscheinungen, erzeugt durch die in der Luft schwebenden Eisnadeln.**

Vierter Abschnitt.

Die Wärme.

A. Von der Wärme im Allgemeinen.

§ 115. Was ist Wärme?

§ 115. Wärme ist die Ursache, welche unter anderen Wirkungen auch den Eindruck auf unsere Gefühlsnerven hervorbringt, welchen wir Wärmegefühl nennen. Bisher nahm man an, daß die warmen Körper einen feinen Stoff (Wärmestoff) enthalten, welcher, von ihnen auf andere Körper übergehend, in diesen die Wärmewirkungen hervorbringe. Jetzt hat man eine andere Hypothese aufgestellt; man erklärt nämlich die Wärme-Erscheinungen in derselben Weise wie die Erscheinungen des Lichtes und nimmt an, daß die Atome der warmen Körper sich in vibrirender Bewegung befinden und dadurch den (im ganzen Weltraume verbreiteten) Aether in Schwingungen versetzen (Wärmewellen), welche nun die Wärmewirkungen hervorbringen. Ja man hält sogar Licht und Wärmewellen für identisch. Da Körper, welche in uns das Gefühl der Kälte erzeugen, und die wir darum kalt nennen, unter veränderten Umständen das Gefühl der Wärme erzeugen und auch auf andere noch kältere Gegenstände Wärmewirkungen hervorbringen, so nimmt man an, daß die Atome aller Körper in Wärmeschwingungen begriffen sind.

Die Luft einer ungeheizten Stube erscheint uns kalt, wenn wir aus einer geheizten, warm, wenn wir aus der Winterkälte kommen. Schnee wird vom kalten Wasser geschmolzen.

Den Grad der Erwärmung eines Körpers nennt man seine Temperatur und nimmt an, daß diese eine Folge der Weite der Schwingungen ist, so daß ein Körper von hoher Temperatur (ein heißer) ein solcher ist, dessen Atome sich bei ihren Schwingungen sehr weit, ein kalter, dessen Atome sich sehr wenig aus ihrer Gleichgewichtslage entfernen. (Vergleiche Stärke des Schalles Nr. 2.)

Was nach der früheren Hypothese Menge des in einem Körper vorhandenen Wärmestoffes war, ist nach der neueren Quantität der lebendigen Kraft seiner schwingenden Atome.

§ 116. Wodurch wird sie erzeugt?

§ 116. Wärme wird erzeugt, d. h. die Wärmeschwingungen eines Körpers werden vergrößert durch das Sonnenlicht, durch Reiben, durch Druck, durch chemische Prozesse, zu denen auch das Verbrennen gehört, endlich durch Elektricität, wie später gezeigt werden wird, mittelbar auch durch Magnetismus.

Im Winter reibt man die Hände, um sie zu erwärmen. Durch Reiben zweier Hölzer zünden die Wilden Feuer an. Die Wagenaxen müssen geschmiert werden. Mühlsteine, welche ohne Getreide umlaufen, entzünden das sie umgebende Holzwerk. Eiserne Werkzeuge, wie Bohrer, Hämmer, Sägen, Feilen u. s. w. werden im Gebrauche warm. Draht erwärmt sich durch öfteres Hin- und Herbiegen. — Im pneumatischen Feuerzeuge (Fig. 1) wird Schwamm entzündet. Durch Hämmern wird der Ambos warm. — Es entsteht Wärme, wenn man Schwefelsäure in Wasser, Wasser über ungelöschten Kalk gießt. — Der elektrische Funke des Gewitters zündet Häuser an, schmilzt Glocken.

B. Wirkungen der Wärme.

§ 117. Von den physikalischen Wirkungen, welche die Wärme hervorbringt, sind hier besonders zwei zu betrachten: § 117. Die Wärme vergrößert das Volumen;

1) Sie vergrößert das Volumen jedes Körpers, mag er fest, flüssig oder luftförmig sein.

Eine Kugel, welche genau durch einen Ring geht, geht nicht mehr hindurch, wenn sie erwärmt wird. Die Eisenbahnschienen dürfen nicht so dicht an einander gelegt werden, daß ihre Enden sich berühren. Bei Zinkbedachungen muß den einzelnen Platten ebenfalls Spielraum gelassen werden. Ein Glas springt, wenn man plötzlich heißes Wasser hineingießt; dasselbe geschieht, wenn das Glas warm und das Wasser kalt ist, oder wenn man ein Glas auf den heißen Ofen setzt. Es springt desto leichter, je dicker der Boden ist. Durch allmähliches Erwärmen oder Erkalten kann man das Zerspringen verhüten. Steinplatten, die durch eiserne Klammern mit einander verbunden sind, bekommen im Winter an der Stelle, wo die Klammer eingelassen ist, oft Risse.

Füllt man eine enge Röhre mit Wasser oder irgend einer andern Flüssigkeit, und erwärmt sie, so läuft diese über. Eine mit Wasser gefüllte Wärmflasche springt, wenn man sie zugeschraubt in den Ofen stellt. Eine schlaff zugebundene Blase bläht sich auf, wenn sie erwärmt wird. Füllt man eine gläserne Retorte so weit mit Wasser, daß, wenn man sie mit dem offenen Ende in Wasser taucht und dann vertical stellt, nur der Hals derselben zum Theil mit Wasser gefüllt bleibt, so wird dieses heruntergedrückt, wenn man die Luft in der Retorte durch eine Spiritusflamme erwärmt.

Daß manche Körper, wie feuchtes Holz, feuchter Thon, Früchte und dergl., in der Wärme an Volumen verlieren, rührt daher, daß die in ihnen befindliche Flüssigkeit verdunstet.

2) Sie verändert den Aggregatszustand der Körper. sie verändert den Aggregatszustand.

Gieb Beispiele.

Beide Wirkungen der Wärme stimmen darin überein, daß die Massentheilchen der Körper das Bestreben erhalten, sich von einander zu entfernen. Die Wärme wirkt also der Cohäsionskraft entgegen.

§ 118. Das Thermometer. Die Ausdehnung der Körper durch die Wärme hat man zur Construction von Temperaturmessern (Thermometer) benutzt. Der wichtigste ist das Quecksilber-Thermometer, welches auf folgende Weise construirt wird: § 118. Construction des Thermometers

Eine ganz enge Glasröhre (Haarröhrchen), welche überall gleich weit und an dem einen Ende mit einer Kugel versehen ist, wird zum

Theil mit Quecksilber gefüllt, die über demselben befindliche Luft herausgeschafft und die Röhre oben zugeschmolzen.

von Réaumur, Hierauf werden die Punkte bestimmt, wo das Quecksilber steht, wenn man die Röhre in schmelzendes Eis und in kochendes Wasser hält; diese Punkte heißen Fundamentalpunkte, der eine **Eispunkt**, der andere **Siedepunkt**. Der Raum zwischen diesen beiden Punkten wird in 80 gleiche, und der Raum unter dem Eispunkte in eben so große Theile (Grade) getheilt. Auf den Eispunkt setzt man die Zahl Null und zählt von da die Grade auf- und abwärts (Wärmegrade + und Kältegrade —). Ein so construirtes Thermometer ist ein Réaumur'sches, welches bei uns am gebräuchlichsten ist. Das Celsius'sche oder das hunderttheilige, welches besonders in Frankreich und in der Gelehrtenwelt gebraucht wird, sowie das in England heimische Fahrenheit'sche, unterscheiden sich blos durch die Scale von dem Réaumur'schen. Celsius, Beim Celsius'schen ist der Raum zwischen den Fundamentalpunkten anstatt in 80, in 100 gleiche Theile getheilt.

Fahrenheit. Fahrenheit hat anstatt des Eispunktes einen andern Fundamentalpunkt, nämlich denjenigen, wo das Quecksilber in einer Mischung von Schnee und Salmiak steht (künstlicher Gefrierpunkt), und theilt den Raum zwischen diesem Punkte und dem Siedepunkte in 212 Grade, wodurch der Réaumur'sche Eispunkt die Zahl 32, und der Raum zwischen dem Eis- und Siedepunkte 180 Grade erhält.

Wie untersucht man, ob eine Röhre überall gleich weit, also zum Thermometer tauglich ist? Warum muß die Röhre überall gleich weit sein? Was heißt das: Ein Thermometer ist empfindlich? Warum nimmt man so enge Röhren? Warum muß auch die Kugel möglichst klein sein? Warum schmilzt man die Röhre zu? Warum darf sich über dem Quecksilber keine Luft befinden?

Das Thermometer ist nach dem Gesagten ein Instrument, vermittelst dessen man erfährt, um wie viel sich die Temperatur eines Körpers von einer anderen bekannten Temperatur, z. B. beim Réaumur'schen und Celsius'schen von der des schmelzenden Eises unterscheidet. Dieses hat nämlich immer ein und dieselbe Temperatur, wie daraus hervorgeht, daß das Quecksilber des Thermometers, so oft man dieses in schmelzendes Eis steckt, sich auf denselben Punkt stellt. Dasselbe gilt für das siedende Wasser, wenigstens bei ein und demselben Barometerstande. Der Temperaturunterschied zwischen schmelzendem Eise und siedendem Wasser ist das Maß, vermittelst dessen man jenen Temperaturunterschied mißt.

Ein Körper ist 20° R. warm, heißt: der Unterschied zwischen der Temperatur dieses Körpers und der des schmelzenden Eises ist $\frac{20}{80}$ des Temperaturunterschiedes, welcher zwischen dem schmelzenden Eise und dem siedenden Wasser stattfindet.

Eine wie große Menge Wärme in einem Körper enthalten ist, wenn er diese oder jene Temperatur zeigt, erfahren wir durch das Thermometer nicht.

An Thermometern mit gleichartiger Scale, z. B. dem Réaumur'schen kann die Länge eines Grades verschieden groß sein; in welchem Falle? Aber dennoch geben sie, wenn sie sonst richtig gearbeitet sind, bei der Messung der Temperaturen gleiche Resultate.

Wie reducirt man den Celsius'schen und Fahrenheit'schen Thermometerstand auf den Réaumur'schen? Z. B. wie viel Grad Wärme zeigt das Réaumur'sche Thermometer, wenn das Celsius'sche auf 30° Grad Wärme, oder wenn das Fahrenheit'sche auf 40° Wärme, oder auf 12° Wärme, oder auf 5° Kälte steht?

Das erste Thermometer construirte Drebbel in Holland 1630. Fahrenheit in Danzig und Réaumur in Frankreich bringen die Fundamentalpunkte an im Anfange des 18. Jahrhunderts.

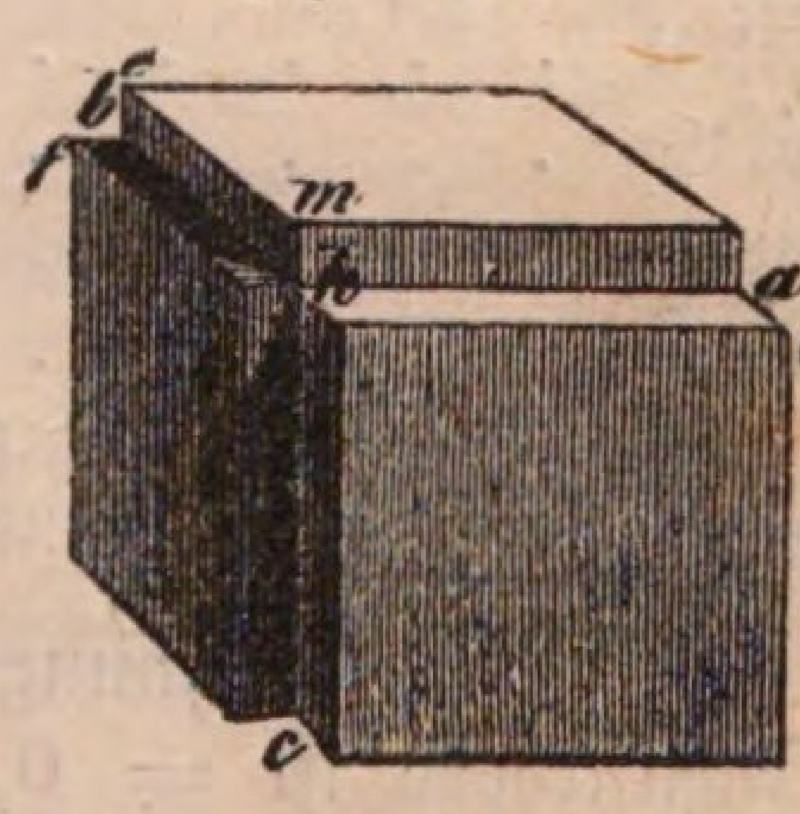
§ 119. Ausdehnung der Körper. Die lineare Ausdehnung eines Körpers bestimmt man dadurch, daß man angiebt, den wievielten Theil seiner Länge die Ausdehnung beträgt, wenn er von 0° bis 100° C. erwärmt wird, und nennt die Zahl, die dies angiebt, seinen Ausdehnungs-Coëfficient.

§ 119. Bestimmung der Größe der Ausdehnung.

Ist z. B. ein Körper bei 0° Wärme 520 Millimeter lang, bei 100° 521 Millimeter, so ist sein Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{520}$.

Der Ausdehnungs-Coëfficient für die kubische Ausdehnung eines Körpers ist 3mal so groß, als der für lineare.

Fig. 178.



Denn akcb (Fig. 178) sei ein Würfel, für dessen Kante der Ausdehnungs-Coëfficient $= \frac{1}{520}$, so daß etwa ck = 520 Millim. und cm = 521 Millimeter, so würde der Würfel in der Richtung ck um die Platte ea zunehmen, welche = $^1/_{520}$ des ganzen Würfels ist, wenn er sich nämlich blos in dieser Richtung ausdehnte. Dehnt er sich nun in allen drei Richtungen eben so aus, so nimmt er an Volumen um 3 solcher Platten zu, nämlich um die Platten ea, fc und ci und außerdem noch um 3 Stücke, welche die Lücken bei bk, ak und ck ausfüllen. Diese 3 Stücke können aber ohne großen Fehler unberücksichtigt bleiben, weil die Ausdehnung fester Körper sehr gering ist.

1) Jeder feste Körper hat seinen ihm eigenthümlichen Ausdehnungs-Coëfficienten.

Gesetze der Ausdehnung.

Denn da die Wärme der Cohäsionskraft entgegenwirkt, so hat sie bei der verschiedenen Festigkeit der Körper einen verschiedenen Widerstand zu überwinden.

2) Die festen Körper dehnen sich am wenigsten, die luftförmigen am meisten aus.

Aus demselben Grunde.

3) Fast alle festen Körper dehnen sich innerhalb der Grenzen 0° und 100° C. regelmäßig, d. h. porportional der Temperatur aus.

Z. B. von 0 bis 50° beträgt die Zunahme der Länge halb so viel, als von 0 bis 100°, von 0 bis 20° nur $^1/_5$, als von 0 bis 100°.

Aber bei höheren Temperaturen nimmt die Ausdehnung stärker zu.

Weil die Cohäsion geringer wird.

Bei flüssigen Körpern ist die Ausdehnung auch zwischen 0° und 100° C. unregelmäßig. Das Quecksilber macht hiervon eine Ausnahme.

4) Alle luftförmigen Körper haben fast denselben Ausdehnungs-Coëfficienten, und dieser bleibt für alle Temperaturen beinahe derselbe, wenn der Druck unverändert bleibt.

5) Die durch die Wärme bewirkte Ausdehnung eines Körpers vermag einen eben so großen Widerstand zu überwinden, als der Körper einer Kraft entgegensetzt, die ihn zusammen zu drücken sucht. Dasselbe gilt für die durch Erkaltung bewirkte Zusammenziehung.

Man kann hieraus auf die bedeutende Größe der Ausdehnungs- und Zusammenziehungskraft bei Metallen schließen. Muß z. B., um einen Eisenstab einen Centimeter zu verlängern, ein Gewicht von 15 Ctr. daran gehängt werden, so beträgt der Widerstand, welchen er zu überwinden vermag, wenn er sich durch Erkaltung um einen Centimeter zusammenzieht, 15 Ctr.

Ausdehnungs-Coëfficient einiger Körper.

Lineare Ausdehnung einiger festen Körper bei einer Temperaturerhöhung von 0°—100° C.

Blei	0,0028	Messing	0,0019
Eisen	0,0012	Platin	0,0009
Glas	0,0008	Silber	0,0019
Gold	0,0015	Zink	0,0029
Kupfer	0,0017	Zinn	0,0022.

Die Ausdehnungs-Coëfficienten der verschiedenen Gase liegen ungefähr zwischen 0,366 und 0,390.

Der Ausdehnungs-Coëfficient für die cubische Ausdehnung des Quecksilbers ist = 0,018, für die Ausdehnung der Luft = 0,3665 = $^{11}/_{30}$.

Ist daher der Barometerstand bei 0° Temperatur = B_0, so ist er bei demselben Luftdrucke, aber bei t° Temperatur d. i. $B_t = B_0 (1 + 0{,}00018t)$.

Wasser dehnt sich nicht bei jeder Temperatur-Erhöhung aus, zieht sich also auch nicht bei jeder Temperatur-Erniedrigung zusammen; destillirtes Wasser hat bei etwas mehr als 4° C. seine größte Dichtigkeit.

Wird Wasser von etwa + 10° Temperatur erkaltet, so zieht es sich zusammen; sobald es aber die Temperatur + 4° C. erreicht hat, nimmt sein Volumen wieder zu und dehnt sich beim Gefrieren noch besonders stark aus. Wird aber das Eis unter 0° erkaltet, so zieht es sich mehr und mehr zusammen.

Das Eis schwimmt auf dem Wasser, ist also weniger dicht als dieses; — Gefäße, in denen Wasser gefriert, springen. Baumstämme bekommen bei großer Kälte Risse. Ebenso bersten Eier, wenn sie gefrieren. Das Verwittern der Felsen, der Steinhauerarbeiten, wenn sie dem Winterfroste ausgesetzt sind, hat seinen Grund hauptsächlich in dem Gefrieren der eingedrungenen Feuchtigkeit. Durch den Winterfrost wird die Ackerkrume aufgelockert.

Wird Wasser, während seine Temperatur unter + 4° C. sinkt, verhindert, sich auszudehnen, so bleibt es flüssig, übt dabei aber einen ungeheuren Druck auf die Wände des Gefäßes aus, nach Martins und Chancel einen Druck von 430 bis 590 Atmosphären.

Man hat dies Gesetz durch Versuche folgender Art gefunden: Eine Gußstahlkanone wurde mit destillirtem Wasser gefüllt und nachdem man eine kleine Stahlkugel hatte hineinrollen lassen, oben zugeschraubt. Nachdem der Apparat tagelang einer Kälte bis 24° C. ausgesetzt war, hörte man beim Umdrehen die Stahlkugel noch rollen, ein Beweis, daß das Wasser noch flüssig war. Sobald aber die Schraube aufgedreht wurde, gefror das Wasser. Waren die Wände der Kanone nicht stark genug, so wurden sie zersprengt.

Da die luftförmigen Körper sich bei allen Temperaturen gleichmäßig ausdehnen, so benutzt man die atmosphärische Luft zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen, z. B. der Schmelzöfen, Kalköfen u. dgl. Messung sehr hoher Temperaturen.

Ein Platingefäß, welches in eine sehr enge Röhre ausläuft, und dessen cubischen Inhalt man kennt, wird der zu messenden Temperatur ausgesetzt und nachher in ein Gefäß mit Wasser geworfen. Durch die Abkühlung verliert die darin enthaltene Luft ihre Expansion und gestattet dem Wasser den Eintritt durch die enge Röhre. Aus der Menge des eingedrungenen Wassers läßt sich dann die Ausdehnung, welche die Luft erlitten hatte, und daraus die Temperatur, der sie ausgesetzt gewesen, berechnen.

Z. B. das Platingefäß habe 150 Cubik-Centim. Inhalt und habe sich bei der Abkühlung mit 120 Cubik-Centimeter Wasser gefüllt, so sind jetzt noch 30 Cubik-Centimeter Luft darin. Diese füllten in der zu messenden Hitze einen Raum von 150 Cubik-Centimeter, also hatten 30 Cubik-Centimeter eine Vergrößerung von 120 Cubik-Centimeter, also 1 Cubik-Centimeter eine Vergrößerung von 4 Cubik-Centimeter erfahren. Hätte die Vergrößerung 0,3665 Cubik-Centimeter betragen, so wäre die Temperatur 100° über der des abkühlenden Wassers gewesen, also bei einer Vergrößerung um 1 Cubik-Centimeter $\frac{100^\circ}{0,3665}$. Bei einer Vergrößerung von 4 Cubik-Centimeter ist daher die zu messende Temperatur $\frac{100}{0,3665} \cdot 4^\circ$ C., d. i. 1091° C. höher als die des abkühlenden Wassers.

Instrumente zur Bestimmung sehr hoher Temperaturen heißen **Pyrometer**.

Veränderung des Aggregatzustandes.

§ 120. Bei vielen festen Körpern, z. B. Eis, Butter, Wachs, Metallen u. dgl., wird durch gesteigerte Erwärmung die Cohäsion so weit aufgehoben, daß sie flüssig werden (sie schmelzen), und bei noch weiter fortgesetzter Erwärmung tritt endlich statt der Cohäsion Abstoßung der einzelnen Theile ein, die Körper werden luftförmig. Dabei steigen die im Innern der Flüssigkeit luftförmig gewordenen Theile als Blasen auf und bringen dadurch ein Wallen der Flüssigkeit hervor. Dieses Uebergehen in Luftform nennt man Sieden oder Kochen. § 120. Schmelzen, Sieden, Verdunsten.

Setzt man z. B. ein Gefäß voll Schnee, Eis, Butter oder dergl. über eine Spiritusflamme, so schmelzen diese Körper nach einiger Zeit, und bei fortgesetzter Erwärmung fängt die Flüssigkeit an zu kochen.

Die flüssigen Körper werden aber auch ohne Temperatur-Erhöhung, also bei jeder Temperatur, luftförmig.

Feuchte Wäsche, der feuchte Erdboden wird trocken. Jede Flüssigkeit in unverschlossenen Gefäßen nimmt an Menge ab. In gescheuerten Stuben werden die Fenster feucht.

Dieses Uebergehen in Luftform nennt man Verdunsten. Es steigen dabei keine Blasen aus dem Innern der Flüssigkeit auf.

Den aus einer Flüssigkeit entstandenen luftförmigen Körper nennt man Dampf.

Durch Erkalten wird der Dampf wieder zu einer Flüssigkeit und diese zu einem festen Körper.

Luftförmige Körper, welche nicht durch Verdampfen einer Flüssigkeit erzeugt werden, nennt man Gase.

Der Wasserdampf, sowohl der durch das Sieden, als auch der durch das Verdunsten des Wassers entstandene, ist unsichtbar; er wird erst sichtbar, wenn er anfängt, wieder flüssig zu werden; er erscheint dann als Nebel.

Es giebt aber auch feste Körper, z. B. Papier, Holz u. dgl., welche durch Temperatur-Erhöhung nicht flüssig und luftförmig werden, sondern eine Zersetzung erleiden; sie verbrennen.

§ 121. Gesetze des Schmelzens.

§ 121. Gesetze des Schmelzens. 1) Jeder Körper schmilzt nur bei einer bestimmten Temperatur und bleibt so lange fest, bis er diese erreicht hat.

Schmelzpunkte.

Gehämmertes englisches Eisen schmilzt bei		1600° C.
Weiches französisches Eisen „ „		1500° „
Stahl schmilzt bei	1300 bis	1400° „
Gußeisen „ „	1050 „	1200° „
Gold „ „		1250° „
Silber „ „		1000° „
Antimon „ „		432° „
Zink „ „		360° „
Blei „ „		334° „
Wismuth „ „		256° „
Zinn „ „		230° „
Schwefel „ „		109° „
Weißes Wachs schmilzt bei		68° „
Stearin „ „	43 bis	49° „
Eis „ „		0° „

Terpentinöl schmilzt bei . . . . —10° C.
Quecksilber " " . . . . —40° "

2) Beim Schmelzen eines festen Körpers wird Wärme gebunden, man sagt: „die Wärme wird latent".

Erwärmt man nämlich einen schmelzbaren festen Körper, so steigt seine Temperatur so lange, bis er seinen Schmelzpunkt erreicht hat; dann aber bleibt dieselbe unverändert, bis er ganz flüssig geworden ist. Weil nun die während des Schmelzens zuströmende Wärme keine Temperatur-Erhöhung hervorbringt, so sagt man „sie wird gebunden". Latente Wärme.

Erwärmt man ein Gefäß voll Schnee über einer Spiritusflamme, so steigt ein in den Schnee gestelltes Thermometer bis auf 0° und bleibt so lange auf 0 stehen, bis der Schnee vollständig geschmolzen ist.

Mischt man 1 Kilogramm Wasser von 80° C. und 1 Kilogr. Wasser von 0° C., so erhält man 2 Kilogr. Wasser von 40° C.; mischt man aber 1 Kilogr. Wasser von 80° C. und 1 Kilogr. Schnee von 0° C., so erhält man 2 Kilogr. Wasser von 0°. Alle Wärme, welche das warme Wasser abgegeben hat, ist also beim Schmelzen des Schnee's gebunden.

Die Wärmeschwingungen des wärmeren Körpers werden also kleiner, ohne daß sich die des schmelzenden Körpers vergrößern. Der Ueberschuß der lebendigen Kraft der ersteren wird durch das Schmelzen des festen Körpers verbraucht.

Aus dem Latentwerden der Wärme beim Schmelzen fester Körper lassen sich auch die sogenannten Kältemischungen erklären. Z. B.: Kältemischungen.

Eine Mischung von 1 Gewichtstheil Kochsalz und 3 Gewichtstheilen Schnee giebt eine Temperatur-Erniedrigung von	0° bis — 17° C.
Gepulvertes Glaubersalz mit Salzsäure übergossen	+ 10° bis — 17° "
3 Gewichtstheile salzsaurer Kalk und 2 Theile Schnee	— 0° bis — 28° "
1 Theil verdünnte Schwefelsäure und 1 Theil Schnee	— 7° bis — 51° "

3) Viele Mischungen fester Körper haben einen tieferen Schmelzpunkt, als jeder ihrer Bestandtheile hat.

Das sogenannte Rose'sche Metallgemisch, welches aus zwei Theilen Wismuth, 1 Theil Blei und 1 Theil Zinn besteht, schmilzt in kochendem Wasser.

Auch beruhen auf den genannten Gesetzen das Schnellloth der Klempner und der sogenannte Zuschlag oder Fluß, welchen man in Hochöfen zur schnelleren Schmelzung der Erze anwendet, und der aus Flußspath, Borax, Quarz u. dgl. besteht.

§ 122. **Gesetze des Festwerdens flüssiger Körper.** 1) Sie werden in der Regel bei derselben Temperatur fest, bei welcher sie flüssig werden. § 122. Gesetze des Festwerdens flüssiger Körper.

Z. B. Wasser gefriert unter den gewöhnlichen Umständen bei 0° R. Flüssiges weißes Wachs gerinnt, wenn es bis auf 68° C. abgekühlt wird.

2) Beim Festwerden wird die beim Flüssigwerden gebundene Wärme wieder frei.

Gewöhnlich wird aber das Freiwerden der Wärme nur dann bemerkbar, wenn das Festwerden sehr schnell geschieht.

Befindet sich in einer verschlossenen Röhre Wasser, über welchem die Luft durch Kochen ausgetrieben ist, so läßt sich dieses, wenn man es vor Erschütterung schützt, bis auf —10° C. erkalten, ohne daß es gefriert. Sobald es aber nun eine Erschütterung erleidet, gefriert ein Theil des Wassers plötzlich, und das in demselben befindliche Thermometer steigt auf 0°.

Füllt man einen kleinen Glaskolben mit unterschwefeligsaurem Natron und erhitzt dies, so schmilzt es bei 56° in seinem Krystallwasser. Taucht man dann ein Thermometer hinein, stellt den Kolben auf einen schlechten Wärmeleiter, damit die Flüssigkeit langsam erkaltet, so sinkt die Temperatur binnen 2 bis 3 Stunden auf die der Stubenluft, ohne daß die Masse fest wird. Sobald man aber ein Stückchen Krystall hineinwirft, geht die Krystallisation sehr schnell vor sich, und die Temperatur steigt um 20—25°.

Eine ähnliche Erscheinung zeigt sich bei einer Auflösung von 3 Theilen Glaubersalz und 2 Theilen Wasser. Der Versuch gelingt hier sicherer, wenn man eine Schicht Oel aufgegossen hat.

3) Beim Festwerden erhalten manche Körper verschiedene Eigenschaften, je nachdem sie schnell oder langsam erkalten.

Schwefel wird durch plötzliches Erkalten zu einer zähen, weichen, durch langsames Erkalten zu einer harten, spröden Masse. Glas und Eisen werden durch schnelles Abkühlen hart und spröde.

Hängt man an einem Eiszapfen, welcher horizontal auf zwei neben einander liegenden Holzklötzen ruht, vermittelst einer Schlinge von haardünnem Drahte ein Gewicht von etwa 1 Kilogramm auf, so durchschneidet der Draht (in der geheizten Stube) den Eiszapfen binnen kurzer Zeit, das Gewicht fällt herab, die beiden Theile des Zapfens aber bilden ein eben so festes Ganze wie vorher. Es muß also das Eis auf der untern Seite des Drahtes durch den Druck schmelzen und oberhalb desselben wieder gefrieren. Dieser Vorgang giebt die Erklärung zu der Erscheinung, daß die Gletscher von festem, krystallinischem Eise sich durch enge Schluchten hindurchdrängen und unterhalb derselben sich wieder ausbreiten.

---

§ 123. Eigenschaften der Dämpfe.

§ 123. Um alle Erscheinungen des Siedens und Verdunstens verstehen zu können, ist es nothwendig, die Eigenschaften der Dämpfe kennen zu lernen.

Expansion.

1) Die Dämpfe sind expansiv, mögen sie eine Temperatur haben, welche sie wollen.

Daß die Wasserdämpfe bei hoher Temperatur eine sehr große Expansion haben, ist bekannt; denn durch dieselben werden ja die Dampfmaschinen getrieben, werden sogar bisweilen die Dampfkessel zersprengt. Daß aber auch die Dämpfe, deren Temperatur weit unter 100° ist, expansiv sind, zeigt folgender Versuch: Füllt man eine etwa 80 Centimeter lange Barometer-Röhre mit Quecksilber, verschließt sie mit dem Finger und taucht sie umgekehrt in ein Gefäß mit Quecksilber, so sinkt bekanntlich das in der Röhre enthaltene Quecksilber bis zur Höhe des Barometerstandes. Läßt man nun einige

Tropfen Wasser in die Torricelli'sche Leere steigen, so verwandelt sich ein Theil des Wassers in Dampf und drückt das Quecksilber um einige Linien herab. Nimmt man statt des Wassers Schwefeläther, so sinkt es fast um die Hälfte seiner Höhe.

2) Die Expansion der Dämpfe wird desto größer, je mehr sie bei derselben Dichtigkeit erwärmt, oder je stärker sie durch Druck verdichtet werden.

Aber man kann die Zusammendrückung der Dämpfe und damit die Expansion nicht willkürlich steigern, sondern der Dampf wird, sobald er bei unveränderter Temperatur eine gewisse Dichtigkeit erreicht hat, wieder tropfbar-flüssig. Maximum der Dichtigkeit.

Erwärmt man bei dem unter Nr. 1 beschriebenen Versuche den in der Torricelli'schen Leere enthaltenen Dampf mit der Hand, oder indem man ein heißes Blech nähert, so sinkt das Quecksilber.

Fig. 179.



Aendert man den Versuch dahin ab, daß man die Barometerröhre in eine weitere, mit Quecksilber gefüllte Röhre taucht (Fig. 179), und hat man so wenig Wasser oder Aether aufsteigen lassen, daß sich diese ganze Flüssigkeit in Dampf verwandelt, so wird, wenn man die Röhre tiefer und tiefer eintaucht und dadurch den Dampf verdichtet, die Quecksilbersäule in ihr niedriger und niedriger, bleibt aber, wenn das angewandte Wasser und die Barometerröhre vorher durch Auskochen von aller Luft befreit war, endlich auf einem Punkte stehen, und nun verwandelt sich der Dampf wieder in Flüssigkeit, welche oben auf dem Quecksilber schwimmt.

Erklärung. Hat der Dampf den Grad der Dichtigkeit erreicht, bei welchem er wieder flüssig wird, so sagt man, er hat das Maximum seiner Dichtigkeit, und nennt den Dampf gesättigt.

Bei der Zusammendrückung folgen die Dämpfe dem Mariotte'schen Gesetze.

Da die Expansion des Dampfes mit der Dichtigkeit zunimmt, so erreicht der Dampf mit dem Maximum seiner Dichtigkeit auch das Maximum seiner Expansion.

Die Spannung des gesättigten Wasserdampfes für verschiedene Temperaturen läßt sich auf folgende Weise messen: Bringt man in ein Gefäßbarometer (Fig. 180) über das Quecksilber des Gefäßes etwas Wasser, zieht dann das Gefäß in eine feine Spitze aus, entfernt durch Kochen des Wassers alle Luft und schmilzt die Spitze zu, so sinkt beim Erkalten das Quecksilber in der Röhre unter den Barometerstand. Die Differenz des Quecksilberstandes in dem Gefäße und dessen in der Röhre giebt die Spannkraft des in dem Gefäße befindlichen Wasserdampfes bei der herrschenden Temperatur. Will man die Spannkraft für alle Temperaturen zwischen 0 und 100° erhalten, so taucht man das Gefäß in Wasser von 0° und erwärmt dieses nach und nach bis 100°. Messung der Expansion.

Die Spannkraft der Dämpfe unter 0° kann man erhalten, wenn man das Gefäß in eine Kältemischung bringt.

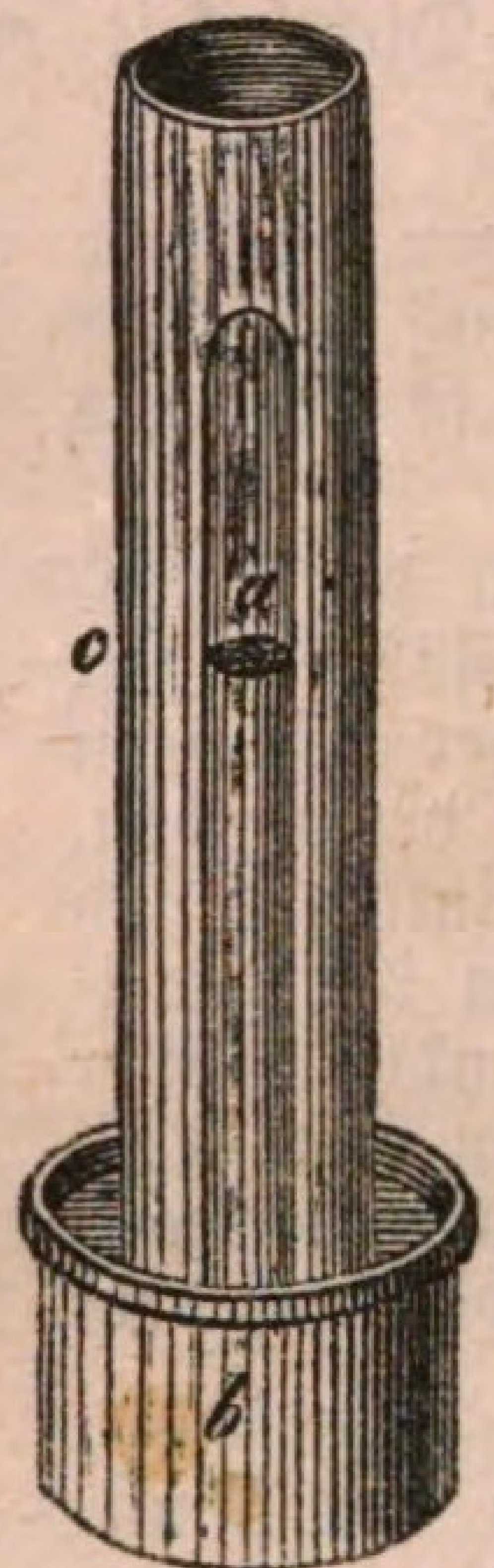
Für Temperaturen über 100° kann man ein Instrument anwenden, welches sich von dem soeben beschriebenen nur dadurch unterscheidet, daß es eine längere Röhre hat, welche oben offen ist. Das Gefäß taucht man in Oel oder eine andere Flüssigkeit, welche sich über 100° erwärmen läßt.

Wie findet man hierbei die Spannkraft des Dampfes?

Fig. 180.



Fig. 181.



Für sehr hohe Temperaturen müssen andere Instrumente angewendet werden, deren Beschreibung uns zu weit führen würde.

Verhältniß der Dichtigkeit des Wasserdampfes zu der der Luft.

Die Dichtigkeit des Wasserdampfes bestimmte Gay Lussac auf folgende Weise: Er füllte ein Glaskügelchen mit sehr dünnen Wänden, welches in eine feine Spitze ausgezogen und dessen Gewicht vorher bestimmt worden war, zum Theil mit Wasser, trieb durch Erhitzung die Luft aus und schmolz die Spitze zu. Durch abermaliges Wiegen bestimmte er das Gewicht des darin befindlichen Wassers. Hierauf füllte er eine etwa 3 Decimeter lange graduirte Glasröhre a (Fig. 181) mit Quecksilber und tauchte sie umgekehrt in ein eisernes, ebenfalls mit Quecksilber gefülltes Gefäß b, so blieb die ganze Röhre mit Quecksilber gefüllt. Darauf ließ er in dieser Röhre das Glaskügelchen emporsteigen, umgab die Röhre mit einem weiteren, oben und unten offenen Glascylinder c, indem er ihn ebenfalls in das Gefäß b tauchte, füllte ihn mit Oel und stellte nun den ganzen Apparat auf einen Ofen. Durch die Erwärmung platzte das Glaskügelchen, das Wasser verwandelte sich nach und nach vollständig in Dampf und die Quecksilbersäule in a wurde herabgedrückt. Um sicher zu sein, daß alles Wasser in Dampf verwandelt war, erhitzte er denselben weit über den Sättigungspunkt, und erhielt dann die Temperatur eine Zeit lang constant. Nun konnte er an einem in das Oel des Cylinders c eingetauchten Thermometer die Temperatur, und an der Eintheilung der Röhre a das Volumen des entstandenen Dampfes ablesen. Da er das Gewicht des Dampfes kannte, so ließ sich leicht dessen Dichtigkeit für die beobachtete Temperatur berechnen. Der Unterschied zwischen der Höhe der Quecksilbersäule in a und dem Barometerstande gab die Spannkraft des Dampfes. Er untersuchte auf diese Weise die Dichtigkeit des Dampfes für verschiedene Temperaturen und fand das Gesetz, daß die Dichtigkeit des Wasserdampfes, wenn er nicht seinem Sättigungspunkte zu nahe ist, stets $^5/_8$ der Dichtigkeit der Luft ist, welche mit ihm gleiche Spannkraft und gleiche Temperatur hat. Da man aber die Dichtigkeit der

Luft für jede Temperatur und Spannkraft berechnen kann, so kann man für jede Temperatur und Spannkraft die Dichtigkeit des Wasserdampfes finden.

Die Berechnung der Dichtigkeit der Luft für irgend eine Spannkraft (p Centimeter Quecksilber) und eine beliebige Temperatur (t^0 C.) läßt sich in folgender Weise ausführen: Durch directe Wägung hat man gefunden, daß ein Cubik-Centimeter Luft bei 0^0 C. Temperatur und 76 Centimeter Expansivkraft 0,001293 Gramm wiegt, also 0,001293mal so dicht als Wasser ist. Dieser eine Cubik-Centimeter Luft dehnt sich nach § 119 bei einer Temperatur-Erhöhung von 100^0 um 0,366 Cubik-Centimeter, also bei 1^0 um 0,00366 und bei t^0 um 0,00366 t Cubik-Centimeter aus; er nimmt also einen Raum von 1 + 0,00366 t Cubik-Centimeter ein, und wenn die Expansion nicht 76 Centimeter, sondern 1 Centimeter ist, nach § 61 einen Raum von (1 + 0,00366 t) 76 und bei einer Expansion von p Centimeter $(1 + 0{,}00366\ t)\,\frac{76}{p}$ Cubik-Centimeter. Da diese Menge 0,001293 Gramm wiegt, so wiegt ein Cubik-Centimeter $\frac{0{,}001293\ .\ p}{(1 + 0{,}00366\ t)76}$ Gramm. Diese Zahl ist zugleich, da 1 Cubik-Centimeter Wasser 1 Gramm wiegt, das specifische Gewicht der Luft in Bezug auf das Wasser.

Berechnung der Dichtigkeit der Luft.

Hiernach ist die Dichtigkeit des Wasserdampfes in der folgenden Tabelle berechnet.

Spannkraft und Dichtigkeit des Wasserdampfes.

Spannkraft und Dichtigkeit des gesättigten Wasserdampfes, wenn man die Dichtigkeit des flüssigen Wassers als Einheit annimmt.

Temperaturgrade nach Celsius.	Spannung in Millimeter.	Dichtigkeit.	Temperaturgrade nach Celsius.	Spannung in Millimeter.	Dichtigkeit.
— 20	0,9	0,00000106	40	54,9	0,00005118
— 15	1,4	0,00000139	50	92,0	0,00008314
— 10	2,1	0,00000232	60	148,8	0,00013038
— 5	3,1	0,00000325	70	233,1	0,00019378
0	4,6	0,00000491	80	354,6	0,00029315
+ 5	6,5	0,00000682	90	525,4	0,00042258
10	9,2	0,00000945	100	760,0	0,00059470
15	12,7	0,00001289	120	1491,3	0,00105764
20	17,4	0,00001731	160	4651,6	0,00313690
25	23,5	0,00002300	180	7646,4	0,00492866
30	31,5	0,00003044	200	11688,9	0,00721669
35	41,8	0,00003958	230	20926,4	0,01215790

3) Dämpfe verschiedener Flüssigkeiten haben bei derselben Temperatur im Maximum ihrer Dichtigkeit verschiedene Expansion.

Das in der Torricelli'schen Leere aufsteigende Wasser drückt durch seine Dämpfe das Quecksilber nur einige Millimeter unter den Barometerstand herab, der Aether fast um die Hälfte des Barometerstandes. (Siehe Nr. 1.)

Die Expansion der beim Sieden entstehenden Dämpfe ist für alle Flüssigkeiten dieselbe, nämlich gleich einer Atmosphäre.

§ 124. Das Sieden.

§ 124. Das Sieden. 1) Jeder flüssige Körper siedet nur, wenn er eine bestimmte Temperatur erreicht hat. Man nennt diese Temperatur den Siedepunkt.

Der Siedepunkt ein und derselben Flüssigkeit liegt aber desto höher, je größer der Druck (Luftdruck) auf die Oberfläche ist.

Denn die im Innern liegenden Flüssigkeitstheilchen können nicht eher luftförmig (expansiv) werden, als bis die Wärme ihnen eine so große Abstoßungskraft ertheilt hat, daß diese den Druck der Atmosphäre und der obern Flüssigkeitsschicht zu überwinden vermag (s. den letzten Satz des vorigen Paragraphen). Man kann also eine Flüssigkeit zum Kochen bringen, wenn man entweder die Temperatur erhöht oder den Druck auf die Oberfläche vermindert.

Siedepunkt einiger Flüssigkeiten.

Bei einem Luftdrucke von 76 Centimeter ist der Siedepunkt von

Cyangas	— 18°	C.	Salpetersäure . . .	86°	C.
Schwefliger Säure .	— 10°	"	Meerwasser	104°	"
Salzäther	+ 12°	"	Terpentinöl	157°	"
Salzsäure, conc. . .	20°	"	Leinöl	315°	"
Salpetriger Säure .	28°	"	Schwefelsäure, conc. .	310°	"
Schwefeläther . . .	37°	"	Quecksilber	350°	"
Alkohol	78°	"			

Während das Wasser am Meeresspiegel, wo der Luftdruck ungefähr 76 Centimeter beträgt, bei 100° C. kocht, kocht es auf dem Gipfel des Montblanc, in einer Höhe von 4600 Meter, wo der Luftdruck 42 Centimeter ist, bei 84° C. — Bringt man Wasser von etwa 70° C. unter den Recipienten der Luftpumpe, so fängt es nach einigen Kolbenzügen an zu kochen. Dabei steigen die Dampfblasen meist aus der Mitte des Wassers auf, nicht vom Boden. Warum? Bringt man Wasser in einem Ballon mit etwas langem Halse zum Kochen, verstopft dann die Oeffnung mit einem Korke, kehrt den Ballon um und kühlt ihn vorsichtig oben mit einem nassen Schwamme ab, so fängt das Wasser von Neuem an zu kochen.

Aenderung des Siedepunktes.

2) Der Siedepunkt einer Flüssigkeit ändert sich, wenn andere Körper in ihr aufgelöst werden; er bleibt aber unverändert, wenn man Körper blos mechanisch beimengt.

Durch Beimischung von Salz wird der Siedepunkt des Wassers erhöht; er bleibt aber unverändert, wenn man Sand oder Sägespäne in das Wasser schüttet.

Wärme gebunden.

3) Beim Sieden wird Wärme gebunden.

Denn bringt man die Flüssigkeit dadurch zum Sieden, daß man dieselbe über Feuer setzt, so steigt ihre Temperatur während des Siedens nicht, so viel Wärme auch durch die Flamme zugeführt werden mag; und bringt man die Flüssigkeit dadurch zum Sieden, daß man den Luftdruck vermindert (unter dem Recipienten), so sinkt ihre Temperatur auffallend schneller, als sonst.

Gießt man in zwei gleich große Gläser gleiche Quantitäten Wasser von etwa 70° C. Wärme, stellt in jedes ein Thermometer und läßt die eine Wassermenge unter dem Recipienten durch Luftverdünnung kochen, so steht das in ihr befindliche Thermometer in kurzer Zeit um 12—15° tiefer, als das in dem andern Gefäße. Sollen Speisen, wie Fleisch, Gemüse u. dgl., weich gekocht werden, so erreicht man diesen Zweck eben so schnell, wenn man sie nur so eben im Kochen erhält, als wenn man sehr stark feuert. Im Papin'schen Topfe, d. i. ein eiserner Topf mit aufgeschraubtem Deckel, läßt sich die Temperatur des Wassers beliebig erhöhen, weil die zunehmende Spannkraft der über dem Wasser sich sammelnden Dämpfe das Kochen verhindert. Daher lassen sich in ihm selbst Knochen zerkochen. Auf hohen Bergen, z. B. dem St. Bernhard (2197 Meter hoch), soll man nicht im Stande sein, Rindfleisch weich zu kochen. Da Fett und Butter einen viel höheren Siedepunkt haben, als Wasser, so werden die Speisen in ihnen viel eher weich, als in diesem.

§ 125. Das Verdunsten. 1) Die Verdunstung findet bei jeder Temperatur und jedem Luftdrucke statt. § 125. Das Verdunsten,

Wird feuchte Wäsche bei Frostwetter im Freien aufgehängt, so wird sie zuerst steif und dann trocken, ein Beweis, daß die Wassertheilchen, nachdem sie sich in Eis verwandelt haben, verdunsten. Ebenso werden die Straßen, wenn sie nicht mit Schnee bedeckt sind, selbst bei der strengsten Kälte staubig.

2) Die Dunstbildung findet nur an der Oberfläche der Flüssigkeit statt. nur an der Oberfläche.

Denn fände sie auch im Innern der Flüssigkeit statt, so müßten beim Verdunsten Blasen aufsteigen.

Daher geht die Dunstbildung desto rascher vor sich, je größer die Oberfläche der Flüssigkeit ist.

Wasser auf einen Tisch oder auf den Fußboden gegossen, verdunstet schneller, als in einem engen Gefäße. Flüssige Farbe bleibt in einem Topfe lange Zeit flüssig, als Anstrich von Gegenständen trocknet sie schnell ein. Nasse Wäsche wird ausgebreitet auf die Leine gehängt.

3) Jeder Raum vermag nur eine gewisse Quantität Dampf aufzunehmen (die Verdunstung hört auf, wenn der Dampf über der Flüssigkeit gesättigt ist), aber eine desto größere Quantität, je wärmer der Dampf ist. Grenze der Verdunstung.

Hierbei ist es fast gleichgültig, ob der Raum luftleer oder mit Luft erfüllt ist.

Der erste Theil des Gesetzes ergiebt sich aus § 123 Nr. 2, der zweite Theil aus der Tabelle in § 123, nach welcher der gesättigte Dampf desto dichter ist, je höher seine Temperatur ist.

In Fässern und Flaschen werden Flüssigkeiten Jahre lang aufbewahrt, ohne daß ihre Quantität merklich abnimmt. — Es giebt Tage, namentlich im Herbst, an welchen die Wäsche im Freien fast gar nicht trocknet; aber doch trocknet sie dann in der geheizten Stube, besonders am warmen Ofen.

Daher geht die Verdunstung desto schneller vor sich, je trockener die Luft, d. h. je weiter sie von ihrem Sättigungspunkte entfernt, und je wärmer die Luft und die Flüssigkeit ist; eben deshalb wird auch die Verdunstung durch Luftzug befördert.

Alle feuchten Gegenstände trocknen im Allgemeinen im Sommer schneller, als im Winter, bei Sonnenschein besser, als bei bedecktem Himmel, bei windigem Wetter besser, als bei ruhiger Luft. Räucher-Essenz gießt man auf die warme Ofenplatte. Bei trockenem Winde werden die Blätter der Pflanzen welk.

Wärme wird gebunden.

4) Beim Verdunsten wird Wärme gebunden, aber nicht immer alle der Flüssigkeit zugeführte Wärme, wie dies beim Sieden der Fall ist; sonst würde man keine Flüssigkeit in offenen Gefäßen erwärmen können.

Wenn man die Kugel eines Thermometers mit feiner Leinwand umwickelt, diese mit Wasser, oder noch besser, mit Schwefeläther befeuchtet und das Thermometer hin- und herschwenkt, so sinkt das Quecksilber, bei Aether sogar unter Null. — Unter dem Recipienten der Luftpumpe kann man Wasser in einem Reagenzgläschen dadurch zum Gefrieren bringen, daß man letzteres mit Baumwolle umwickelt, diese mit Aether befeuchtet und den entstehenden Aetherdampf auspumpt. — Der aus dem Bade Steigende empfindet Kälte, besonders bei windigem Wetter. Der Jäger befeuchtet den Finger und hält ihn in die Höhe, um die Windrichtung zu erforschen. Durch aufgestellte Wassergefäße oder durch Wassersprengen wird die Stubentemperatur im Sommer etwas erniedrigt. In Flaschen von unglasirtem Thon hält sich das Wasser kühler, als in andern Flaschen. Nach heißen Tagen ist es gegen Abend auf Wiesen oder bewachsenen Feldern kühler, als auf Chausseen und anderen unbewachsenen Flächen. Heiße Speisen kühlt man ab, indem man über den Löffel hinwegbläst.

§ 126. Der Leidenfrost'sche Tropfen.

§ 126. Der Leidenfrost'sche Tropfen.

Bringt man in ein glühendes Metallgefäß einige Tropfen einer Flüssigkeit, deren Siedepunkt sehr tief unter der Temperatur des Gefäßes liegt, so kommt dieselbe nicht, wie man erwarten sollte, zum Kochen, sondern rotirt darin in Kugelgestalt, an Masse nach und nach abnehmend. Sobald sich aber die Temperatur des Gefäßes bis zu einem gewissen Punkte erniedrigt hat, verdampft der Rest der Flüssigkeit mit großer Heftigkeit. Dieser Versuch wurde zuerst von Leidenfrost angestellt; daher sein Name.

Die Flüssigkeit bleibt desto länger flüssig, je tiefer ihr Siedepunkt unter der Temperatur des Gefäßes liegt.

Daß die Temperatur der Flüssigkeit unter ihrem Siedepunkte bleibt, erkennt man daraus, daß man sie, ohne sich zu verbrennen, aus dem glühenden Gefäße in die Hand gießen kann, und hat wohl darin seinen Grund, daß sich zwischen der Flüssigkeit und dem Gefäße eine Dunstschicht bildet, wodurch erstens eine Menge Wärme gebunden und zweitens eine genaue Berührung der Flüssigkeit mit dem Gefäße verhindert wird.

Da der Tropfen kugelförmig bleibt, so muß die Adhäsion aufgehoben oder doch sehr vermindert sein; dies ist eine Folge davon, daß die Abstoßungskraft, welche die Wärme den einzelnen Theilen eines Körpers ertheilt, sich hier auf die Flüssigkeit äußert.

Gießt man in einen kleinen Platinlöffel ein paar Tropfen Wasser, so breiten sich dieselben so aus, daß der Löffel nur benetzt erscheint, sobald man ihn aber vorher rothglühend gemacht hat, tritt die oben beschriebene Erscheinung ein. Noch länger bleibt Aether flüssig. Wassertropfen, auf flüssiges Blei gegossen, rollen als kleine Kugeln darüber hin. Von flüssiger schwefeliger Säure, welche sich schon bei — 10° in Dampf verwandelt, kann man eine ziemlich große Quantität in einen rothglühenden eisernen Schmelztiegel gießen, ohne daß sie verdampft. Gießt man dann Wasser hinzu, so verwandelt sich die Säure plötzlich in Dampf und das Wasser gefriert.

Aus dem angeführten Gesetze lassen sich wohl manche Explosionen von Dampfkesseln erklären, wenn sie nicht hinreichend mit Wasser gespeist waren. In flüssiges Blei und Eisen kann man den Finger tauchen, ohne sich zu verbrennen, besonders wenn man ihn mit Wasser oder, noch besser, mit Aether befeuchtet, während man ihn in kochendes Wasser nicht ungestraft tauchen kann. Ueber soeben gegossenes, noch weißglühendes Eisen soll man mit bloßen Füßen gehen können, ohne sich zu verbrennen.

§ 127. Das Flüssigwerden der Dämpfe.

§ 127. In § 123 ist nachgewiesen, daß der Wasserdampf, wenn er einen gewissen Grad von Dichtigkeit erreicht hat (gesättigt ist) und nun weiter verdichtet wird, wieder anfängt, tropfbar-flüssig zu werden. Ferner geht aus der Tabelle desselben Paragraphen hervor, daß dieser Dichtigkeitsgrad desto kleiner ist, je niedriger die Temperatur ist; folglich muß sich der Wasserdampf auch ohne Zusammendrückung durch Temperatur-Erniedrigung auf sein Dichtigkeits-Maximum bringen und durch weitere Temperatur-Erniedrigung tropfbar-flüssig machen lassen.

Dasselbe gilt von den Dämpfen aller Flüssigkeiten. Dies Gesetz läßt sich kurz so aussprechen:

1) Die Dämpfe werden tropfbar-flüssig, wenn sie über ihren Sättigungspunkt hinaus zusammengedrückt oder erkaltet werden.

Bei dem Uebergange aus dem luftförmigen in den tropfbar-flüssigen Zustand verliert der Wasserdampf seine Durchsichtigkeit, er wird zu Nebel, und dieser besteht aus sehr kleinen Flüssigkeitstheilchen; daß er, wie man gewöhnlich annimmt, aus Wasserbläschen besteht, ist noch nicht unzweifelhaft nachgewiesen; daß der Nebel oft lange Zeit in der Luft schwebt, ohne zur Erde zu fallen, rechtfertigt die Annahme von Wasserbläschen nicht; denn auch Staub, der specifisch schwerer ist, als die Luft, hält sich oft sehr lange in derselben schwebend.

Aus Töpfen mit heißem Wasser steigen Dampfwolken auf, die desto dichter erscheinen, je heißer das Wasser und je kälter die Luft ist. In Kochöfen, in welchen Wasser kocht, sieht man in der Regel keinen Wasserdampf, wohl aber sieht man ihn, wenn er in die kalte Luft der Küche strömt. Aus den Fenstern der Waschhäuser, der Pferdeställe u. dergl. steigen im Winter Dampfwolken auf. Ebenso sieht man bei kaltem Wetter den Hauch der Menschen. Derselbe bildet dann am Bart und an der Kleidung Wasser-

tropfen oder Reif. Im Winter beschlagen die Fenster der warmen Stuben. Kalte Gegenstände, in die geheizte Stube gebracht, belegen sich mit Wassertropfen. Ueber Wasserflächen und feuchten Wiesen bildet sich des Abends, wenn sich die Luft abkühlt, Nebel.

Wärme wird frei.

2) **Beim Uebergange der Dämpfe in den tropfbar-flüssigen Zustand wird so viel Wärme frei, als bei der Dampfbildung gebunden wurde.**

Leitet man Dampf von 100° Wärme in ein Gefäß mit Wasser von 0°, so verwandelt sich derselbe dort in Wasser und die Temperatur der ganzen Wassermasse erreicht endlich eine Temperatur von 100°. Der in Wasser verwandelte Dampf hat also zuletzt dieselbe Temperatur, die er als Dampf hatte, hat also scheinbar nichts an Wärme verloren, und doch hat das kalte Wasser 100° Temperatur von ihm erhalten. Diese Wirkung kann also nur durch den Uebergang des Dampfes in den tropfbar flüssigen Zustand hervorgebracht worden sein.

Auch mehrere Gase, nämlich Cyangas, Schwefelwasserstoffgas, schwefelige Säure, Chlor, Ammoniak, Salzsäure, Kohlensäure und salpetrige Säure lassen sich durch großen Druck und Erkaltung tropfbar-flüssig machen. Daher vermuthet man, daß wohl auch die übrigen Gase dieser Umwandlung fähig sind, nur daß man noch nicht die dazu erforderliche Kälte und den erforderlichen Druck hervorzubringen vermag.

§ 128. Die Dampfmaschine.

§ 128. Die Dampfmaschine hat im Wesentlichen folgende Einrichtung:

Fig. 182.

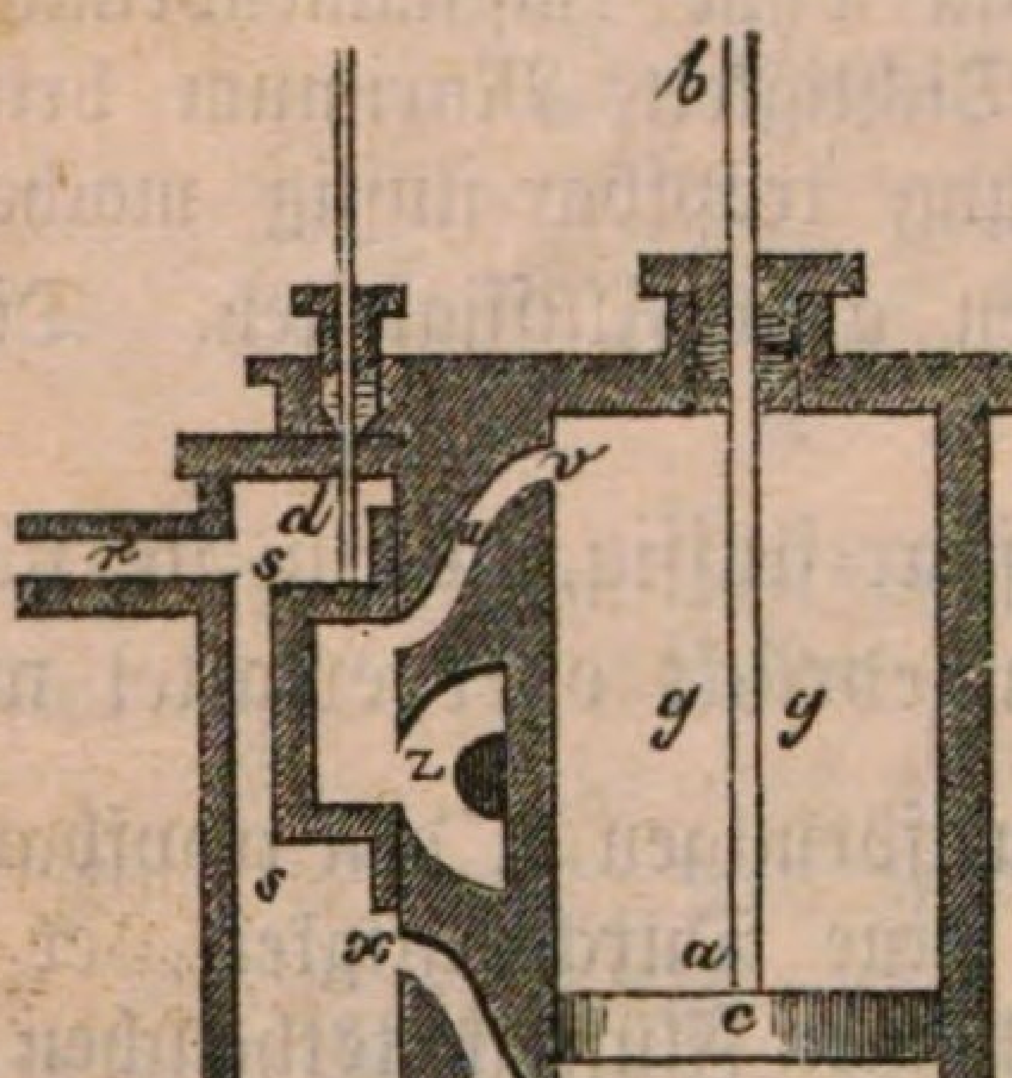
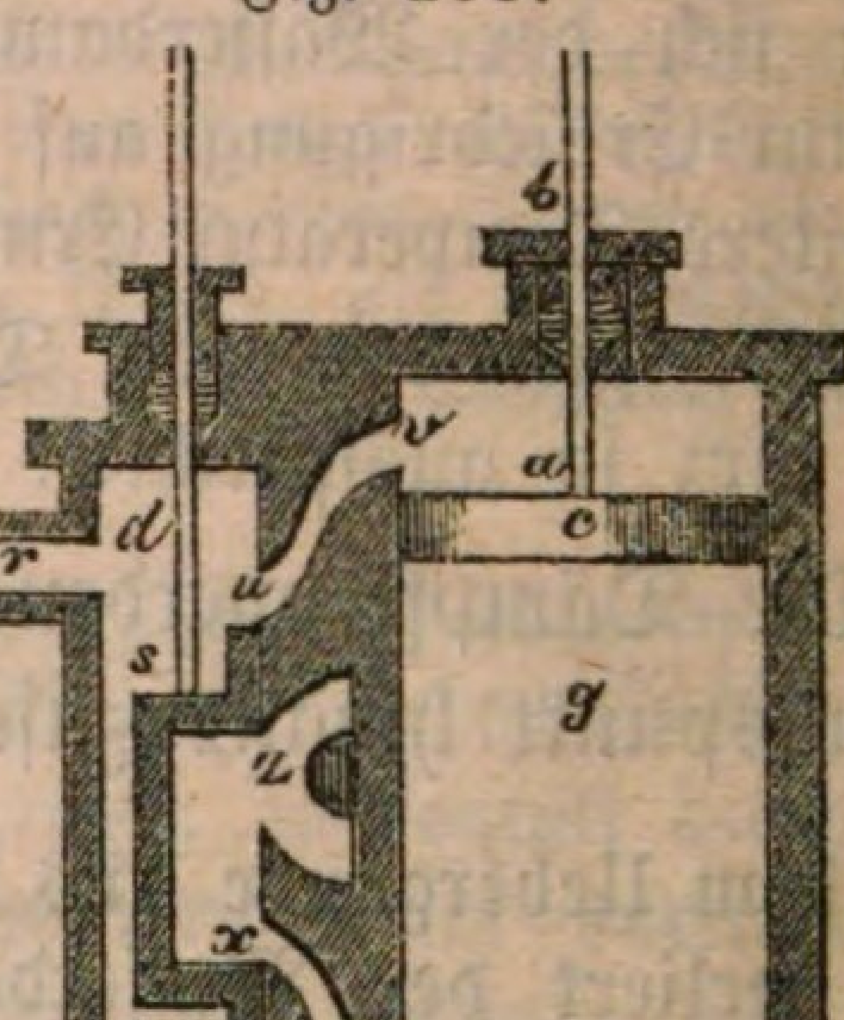


Fig. 183.



Aus dem Dampfkessel strömt der Dampf durch die Röhre r (Fig. 182 und 183) in den Kasten dd, und von da einmal durch die Röhre xy unter den Kolben c, und das andere Mal durch die Röhre uv über den Kolben, je nachdem das Schieberventil ss die in Fig. 182 oder die in Fig. 183 angedeutete Stellung hat. Dadurch wird der Kolben c das erste Mal aufwärts, das andere Mal abwärts getrieben.

Beim Aufsteigen strömt der über dem Kolben befindliche Dampf durch die Röhre vu, beim Absteigen desselben der unter dem Kolben

befindliche Dampf durch die Röhre yx in den Condensator Z. Die Stange ab setzt den Balancier und dieser das Schwungrad in Bewegung. Zugleich wird durch den Balancier das Schieberventil auf- und abgezogen.

Historisches. Hero in Alexandrien soll zuerst darauf gekommen sein, den Wasserdampf als bewegende Kraft anzuwenden. Er construirte eine Maschine, welche durch das Ausströmen des Dampfes, ähnlich wie das Segner'sche Wasserrad, in Bewegung gesetzt wurde. Ein italienischer Mathematiker, Brancas, ließ den Dampf aus einer kleinen Oeffnung des Kessels auf die Schaufeln eines Rades strömen. Die große Gewalt aber, die man durch den Wasserdampf hervorzubringen vermag, zeigte zuerst Papin an seinem Digestor. 1687 construirte er einen Apparat, in welchem ein Kolben auf- und abbewegt wurde, indem unter dem Kolben Dampf einströmte und dann wieder verdichtet wurde. Die erste wirklich angewandte Dampfmaschine wurde im Jahre 1688 durch Savary construirt. Die vollkommeneren Maschinen, wie sie jetzt noch angewendet werden, verdanken wir Jacob Watt, der am Ende des vorigen Jahrhunderts (1763) die erste solche Maschine baute.

C. Specifische Wärme. Wärmecapacität. Verbreitung der Wärme.

Ausgleichung der Temperatur.

Werden Körper von verschiedener Temperatur mit einander in Berührung gebracht, so theilt der wärmere dem kälteren so lange Wärme mit, bis beide gleiche Temperatur haben, und zwar giebt der wärmere in einer bestimmten Zeit desto mehr Wärme ab, je größer der Temperaturunterschied beider Körper ist.

Setzt man ein kaltes Gefäß auf eine heiße Ofenplatte, so wird es warm, und zwar desto schneller, je heißer diese ist. — Die Stubenluft wird desto schneller bis zu einem gewissen Grade erwärmt, je heißer der Ofen ist.

Dabei zeigen sich folgende Gesetze:

§ 129. bei gleicher Substanz.

§ 129. a. Sind die beiden Körper, welche ihre Temperatur ausgleichen, von gleicher Substanz und gleicher Masse, so steigt die Temperatur des kälteren um so viel Grad, als die des wärmeren fällt.

Z. B. ein Kilogramm Wasser von 100° und ein Kilogramm Wasser von 20° geben eine Mischung von 60°.

b. Sind die beiden Körper, welche ihre Temperatur ausgleichen, zwar von gleicher Substanz, aber von ungleicher Masse, so gewinnt der kältere, wenn er mehr Masse hat als der wärmere, weniger Temperaturgrade, als der wärmere verliert, und zwar nmal so wenig, wenn er nmal so viel Masse hat, als jener. Und umgekehrt: Er gewinnt nmal so viel Temperaturgrade, als der wärmere verliert, wenn er nmal so wenig Masse hat, als jener.

Mischt man z. B. 1 Kilogramm Wasser von 100° und 3 Kilogramm Wasser von 20°, so erhält man eine Mischung von 40°. Das Kilogramm wärmere Wasser hat also 60° abgegeben und das kältere nur 20° zugenommen, also 3mal weniger. Mischt man aber ein Kilogramm Wasser von 20° und 3 Kilogramm Wasser von 100°, so erhält man eine Mischung von 80°; das 1 Kilogramm hat also 60° gewonnen und die 3 Kilogramm 20° verloren.

Anmerkung. Die unter a und b angeführten Erscheinungen finden aber nur statt, wenn die Temperatur der zu mischenden Körper nicht gar zu verschieden ist.

Berechnung der Temperatur einer Mischung.

Beurtheilen wir auch hier, wie überall, aus der Größe der Wirkung die Größe der Ursache, so müssen wir annehmen, daß zur Temperatur-Erhöhung eines Körpers um n Grad nmal so viel Wärme (lebendige Kraft der schwingenden Atome) erforderlich sei, als zur Temperatur-Erhöhung desselben Körpers um einen Grad.

Aus der unter a. angeführten Erscheinung geht hervor, daß, um die Temperatur eines Körpers um n Grad zu erhöhen, immer dasselbe Wärmequantum erforderlich ist, mag der Körper ursprünglich die Temperatur t^0 oder T^0 haben, wenn nur t und T nicht gar zu verschieden von einander sind.

Denn in dem unter a angeführten Beispiele bringt die in das eine Kilogramm kälteren Wassers übergehende Wärme in diesem eine Temperatur-Erhöhung von 40° hervor, und eben dieselbe Wirkung hatte sie auch in dem wärmeren Wasser gehabt; denn dieses wird durch ihr Heraustreten um 40° kälter.

Aus der unter b. angeführten Erscheinung ergiebt sich, daß eine n Kilogramm große Masse nmal so viel Wärme erfordert, um eine gewisse Temperatur-Erhöhung zu erfahren, als 1 Kilogr. desselben Stoffes.

Es verlor das 1 Kilogramm Wasser an Temperatur 60° und die 3 Kilogramm kälteren Wassers gewannen 20°. Also brachte dieselbe Wärmemenge in 3 Kilogramm eine 3mal kleinere Temperatur-Erhöhung hervor, als in dem einen Kilogramm.

Hiernach läßt sich nun im Voraus berechnen, welche Temperatur eine Mischung zweier Körper von gleicher Materie haben wird, wenn Masse und Temperatur der beiden Körper gegeben ist.

Hat nämlich der eine Körper eine Masse von M Kilogramm und eine Temperatur von T^0, der andere m Kilogramm Masse und t^0 Temperatur, so ist die Temperatur der Mischung

$$T = \frac{MT + mt}{M + m}$$

Richmann'sche Regel.

Diese Formel heißt die Richmann'sche Regel.

Entwickelung der Formel: Wenn wir die Menge Wärme, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Kilogrammes der in Rede stehenden Materie um 1° zu erhöhen, eine Wärme-Einheit (Calorie) nennen, so sind, um M Kilogramm von 0° auf 1° zu erwärmen, M Einheiten nöthig, und um sie auf T^0 zu bringen, MT Einheiten. Hiernach befinden sich in den M Kilogramm der Materie von T^0 außer der Wärmemenge, welche sie bei 0° haben, noch MT Einheiten Wärme. Ebenso befinden sich in den m Kilogramm außer der Wärme-Menge, welche sie bei 0° haben, mt Einheiten Wärme. Es sind also in beiden Körpern außer der Menge Wärme, welche ihnen eine Temperatur von 0° giebt, MT + mt Einheiten Wärme enthalten. Diese würden ein Kilogramm Masse auf MT + mt Grad über Null erwärmen. Da sich aber die Wärme auf M + m Kilogramm Masse vertheilt, so ist die Temperatur $= \frac{MT + mt}{M + m}$ Grad.

z. B. werden 6 Kilogramm Wasser von 20° und 18 Kilogr. Wasser von 40° gemischt, so erhält die Mischung eine Temperatur von $\frac{6 \cdot 20 + 18 \cdot 40}{6 + 18} = 35°$.

c. Sind die ihre Temperatur ausgleichenden Körper von verschiedener Materie, aber von gleicher Masse, so steigt die Temperatur des kälteren Körpers je nach der Art seiner Materie mehr oder weniger, als die des wärmeren fällt. Gießt man z. B. 1 Kilogr. Wasser von 100° und 1 Kilogr. Quecksilber von 69° zusammen, so erhalten beide Körper eine Temperatur von 99°. Gießt man aber 1 Kilogr. Wasser von 69° und 1 Kilogr. Quecksilber von 100° zusammen, so erhält man eine Temperatur von 70°. Wärme-Capacität.

Die Wärmemenge also, welche die Temperatur eines Kilogramms Quecksilber um 30° erhöht, erhöht die Temperatur eines Kilogramms Wasser blos um einen Grad. Das Wasser hat also eine größere Fähigkeit, die Wärme zu binden, als das Quecksilber. Außerdem folgt aus der Erscheinung, daß eine Quantität Wasser, welche dieselbe Temperatur hat, als eine eben so große Quantität Quecksilber, 30mal so viel Wärme enthält, als dieses.

Erklärung. Die Fähigkeit einer Materie, die Wärme zu binden, nennt man Wärmecapacität dieser Materie, und sagt von einer Materie A, sie habe eine nmal so große Wärmecapacität, als eine andere B, wenn dieselbe Wärmemenge, welche die Temperatur eines Kilogrammes von der Materie A um einen Grad erhöht, ein Kilogramm von B um n Grad wärmer macht.

Man sagt also z. B.: Die Wärmecapacität des Wassers ist 30mal so groß als die des Quecksilbers.

Wenn also eine Menge Körper von verschiedener Materie gleiche Masse, etwa ein Kilogramm, und gleiche Temperatur haben, so befindet sich in jedem eine andere Menge von Wärme. Wie viel Wärme sich in jedem befindet, läßt sich nicht bestimmen, da wir keine Anschauung von der Wärme selbst, also auch kein absolutes Maß für sie haben; wohl aber läßt sich, wie wir aus dem Beispiele vom Wasser und Quecksilber gesehen haben, bestimmen, wie viel mal mehr Wärme der eine enthält, als der andere. Man ist übereingekommen, die in den verschiedenen Materien enthaltenen Wärmemengen dadurch zu vergleichen (zu messen), daß man die Zahl angiebt, wie viel mal mehr Wärme in einem Kilogramm einer jeden Materie enthalten ist, als in einem Kilogramm gleich warmen Wassers, und nennt diese Zahlen die specifische Wärme der Materien. Specifische Wärme.

Für das Quecksilber ist hiernach, wie wir oben gesehen haben, die specifische Wärme $= \frac{1}{30}$.

Es ist klar, daß durch diese Zahlen zugleich ausgedrückt wird, wie viel mal größer die Wärmecapacität einer jeden Materie ist, als die des Wassers.

Bestimmung der specifischen Wärme.

Um die specifische Wärme oder die Wärmecapacität der verschiedenen Stoffe zu finden, ist unter mehreren gebräuchlichen Methoden die schon erwähnte Mischungsmethode die zuverlässigste. Man nimmt dazu eine abgewogene Quantität Wasser in einem möglichst wenig Masse enthaltenden Gefäße, thut darein eine ebenfalls abgewogene, bis zu einer bekannten Temperatur erhitzte Quantität der zu untersuchenden Materie (mag diese fest oder flüssig sein) und beobachtet die in dem Wasser dadurch erzeugte Temperatur-Erhöhung, woraus sich dann die specifische Wärme der Materie berechnen läßt.

Ausführung der Rechnung. Gesetzt, die angewandte Wassermenge wiege m Kilogramm und habe eine Temperatur von t°, der hinein gelegte Körper wiege m′ Kilogramm und sei t'° warm, und die Temperatur des Wassers wie des Körpers sei durch die Eintauchung (oder Mischung) auf T° gekommen, so erhält man die specifische Wärme des in das Wasser getauchten (oder gegossenen) Körpers auf folgende Weise: Nennen wir die Wärmemenge, welche nöthig ist, um die Temperatur eines Kilogramms Wasser von 0° auf $+ 1^{\circ}$ zu erhöhen, eine Wärme-Einheit, so sind für m Kilogramm Wasser m solche Einheiten, und um diese m Kilogramm t° über Null zu erwärmen, mt Wärme-Einheiten nöthig. Ebenso würden m′ Kilogramm Wasser m′t′ Wärme-Einheiten erfordern, wenn sie t'° über Null erwärmt werden sollten. Nennen wir nun die zu suchende specifische Wärme des Körpers c′, d. h. gebraucht 1 Kilogramm des Körpers c′mal so viel Wärme, um einen Grad über Null erwärmt zu werden, als 1 Kilogramm Wasser, so gebrauchen m′ Kilogramm des Körpers, um auf t'° erwärmt zu werden, c′m′t′ Wärme-Einheiten. Hieraus folgt, daß vor der Vereinigung des Wassers und des Körpers in dem Wasser außer der Wärmemenge, welche es bei 0° hat, mt, und in dem Körper c′m′t′ Wärme-Einheiten, in beiden zusammen also mt + c′m′t′ enthalten sind.

Nach der Vereinigung haben beide Körper die Temperatur T°; also enthält das Wasser mT, und der eingetauchte Körper c′m′T, beide zusammen also mT + c′m′T Wärme-Einheiten, außer der Wärmemenge, welche sie bei 0° haben.

Da sich nun durch das Mischen die Summe der Wärme nicht ändert, sondern sich blos anders auf die beiden Stoffe vertheilt, so muß:

Formel für die specifische Wärme.

$$mt + c'm't' = (m + c'm')\,T$$

sein, aus welcher Gleichung sich c′ berechnen läßt.

Z. B. Wird eine eiserne Kugel von 2 Kilogramm Masse auf 93° erhitzt und in 9 Kilogramm Wasser gethan, welches 10° warm ist, und wird dieses dadurch bis auf 12° erwärmt, so erhält man die specifische Wärme des Eisens, wenn man in der Formel $m = 9$, $t = 10$, $m' = 2$, $t' = 93$ und $T = 12$ setzt; dann ist:

$$9 \,.\, 10 + c' \,.\, 2 \,.\, 93 = (9 + c' \,.\, 2)\,12,$$

d. i. $90 + 186\,c' = 108 + 24\,c'$ und hieraus $c' = \frac{1}{9}$.

Um die specifische Wärme solcher Stoffe zu bestimmen, welche in Wasser löslich sind, nimmt man anstatt des Wassers eine andere Flüssigkeit (etwa Terpentinöl), deren specifische Wärme man schon bestimmt hat, und verfährt ebenso wie mit dem Wasser. Die Rechnung führt dann auf die Formel:

$$mct + m'c't' = (mc + m'c')\,T,$$

wo c die specifische Wärme der Flüssigkeit ist.

Entwickele diese Formel in derselben Weise, wie die für das Wasser entwickelt ist.

Will man durch diese Methode genaue Resultate erlangen, so muß die Temperatur des erwärmten Wassers oder der erwärmten Flüssigkeit nicht viel über der der Luft stehen, das Eintauchen oder Eingießen muß ohne Zeitverlust geschehen und die Erwärmung des Gefäßes mit in Rechnung gebracht werden.

Specifische Wärme einiger Stoffe.

Eisen	0,114.	Gold	0,032.
Zink	0,095.	Quecksilber	0,033.
Kupfer	0,095.	Messing	0,094.
Silber	0,057.	Schwefel	0,203.
Blei	0,031.	Jod	0,054.
Zinn	0,056.	Glas	0,198.
Platin	0,032.	Terpentinöl	0,426.

Dulong und Petit haben folgendes merkwürdige Gesetz gefunden:

Bei allen einfachen Stoffen ist das Product aus der specifischen Wärme und dem Atomgewichte ein und dieselbe Zahl, nämlich nahezu 6,4. Beziehung zwischen Atomgewicht und specifischer Wärme.

Z. B.: Das Atomgewicht des Platina = 198, seine specifische Wärme = 0,0324, das Product = 6,4152, das Atomgewicht für Eisen = 56, die specifische Wärme = 0,1138, das Product = 6,3728.

Das Product aus der specifischen Wärme und dem Atomgewichte drückt aber die Menge Wärme aus, welche ein Atom gebraucht, damit es um einen Grad wärmer werde; folglich braucht ein Atom von jeder beliebigen Substanz dazu dieselbe Wärmemenge.

Das obige Gesetz läßt sich auch so aussprechen:

Die specifische Wärme je zweier einfachen Stoffe verhält sich umgekehrt wie ihre Atomgewichte.

§ 130. Die Art und Weise, wie zwei sich berührende feste Körper ihre Temperatur ausgleichen, ist folgende: Zuerst nehmen diejenigen Theile des kälteren Körpers, welche den wärmeren unmittelbar berühren, die Wärme auf (ihre Wärmeschwingungen werden vergrößert); von diesen pflanzt sich dieselbe auf die nächstliegenden Theile fort u. s. w. § 130. Leitung der Wärme.

Ein Eisenstab in's Feuer gehalten, wird zuerst an dem Theile heiß, welcher unmittelbar mit der Flamme in Berührung steht, später kann man ihn an dem entgegengesetzten Ende nicht mehr in der bloßen Hand halten.

Erklärung. Diese Art der Verbreitung der Wärme nennt man Leitung.

Manche Körper nehmen die Wärme schneller auf, leiten sie schneller in ihren Theilen fort und geben sie auch schneller wieder ab, als andere. Solche Körper nennt man gute Wärmeleiter. Gute, schlechte Wärmeleiter.

Ein eiserner Ofen wird schneller warm, aber auch schneller wieder kalt, als einer von Kacheln. — In eisernen Töpfen kocht das Wasser schneller, als in thönernen. — Ein an dem einen Ende brennendes Stück Holz kann man dicht hinter dem brennenden Theile mit der bloßen Hand halten, einen an dem einen Ende glühenden Eisenstab nur in größerer Entfernung.

Zu den besten Wärmeleitern gehören die Metalle, zu den schlechtesten: Federn, Wolle, überhaupt Haare. Der schlechteste Wärmeleiter ist die Luft; daher gehören auch wohl alle porösen Körper zu den schlechten Leitern. Welcher von zwei gleich warmen Körpern der bessere Wärmeleiter ist, läßt sich leicht durch das Gefühl entscheiden. Sind nämlich die beiden Körper kälter, als die Hand, so erscheint der bessere Leiter der Hand kälter, als der andere; sind dieselben aber wärmer als die Hand, so hält man den bessern Leiter für wärmer; z. B. ein Glas, ein Teller, die metallene Thürklinke u. dgl. fühlen sich kälter an, als hölzerne Gegenstände desselben Zimmers, ebenso leinenes Zeug kälter als wollenes. Die Kacheln eines geheizten Ofens erscheinen uns dagegen weniger warm, als ein zwischen dieselben eingeschlagener Nagel, oder andere am Ofen befindliche eiserne Gegenstände.

Betten, Pelze, wollene Kleider schützen uns gegen die Kälte. Will man warme Speisen lange warm erhalten, so darf man sie nur in geschlossene Gefäße thun und diese in Betten, Pelz oder wollenes Zeug einhüllen. Durch dasselbe Verfahren wird aber auch Eis vor dem Schmelzen geschützt. Im Sommer tragen wir leinene Kleider. Warum sind Pelze im Sommer unerträglich, obwohl sie die Wärme der Sonnenstrahlen am besten von uns abhalten würden? Metallene Gefäße werden mit Holzgriffen versehen. Die Steigbügel umwickelt man im Winter mit Stroh. Auf gedieltem Fußboden empfindet man weniger Kälte in den Füßen, als auf gepflastertem. Eiserne Gegenstände darf man bei strenger Kälte nicht mit feuchten Händen anfassen. Sind solche im Sommer lange den heißen Sonnenstrahlen ausgesetzt gewesen, so verbrennt man sich an ihnen. Beim Feueranzünden verlischt der brennende Span weniger leicht, wenn er auf ein Paar Holzstücke, als wenn er unmittelbar auf den Rost gelegt wird. Eine glühende Kohle läßt sich in der bloßen Hand tragen, wenn man sie nicht zu lange auf einem Fleck liegen läßt, glühendes Eisen nicht. Der Schnee schützt die Saaten vor dem Erfrieren. Man zieht den Fuß in dem Stiefel ein wenig zurück, wenn man die Zehen erwärmen will. Doppelfenster schützen die Zimmer besser vor Kälte, als es einfache von doppelter Dicke thun würden. Zwei Hemden halten wärmer als eines, welches so dick ist, als beide zusammen. Im Winter steht man auf einem mit Kies bestreuten Wege wärmer, als auf einem glatten. Legt man sich in einem ungeheizten Zimmer ins Bett, so erscheint dasselbe im ersten Augenblicke kälter, als die Luft des Zimmers.

Wasser gehört zu den schlechten Wärmeleitern.

Setzt man einen Topf mit Wasser neben das Feuer, so kocht dieses oft an der Oberfläche, während es am Boden noch lau ist. Ebenso erkennt man die schlechte Leitungsfähigkeit aus der Länge der Zeit, die ein nur mäßig tiefes Wasser bedarf, um bis auf den Grund zu gefrieren. Dennoch läßt sich das Wasser, und ebenso auch die Luft, weit schneller erwärmen, als man nach der geringen Leitungsfähigkeit dieser Stoffe erwarten sollte, wenn die Wärme von unten zuströmt, z. B. wenn ein Topf Wasser auf die heiße Ofenplatte gesetzt wird. Warum? Cylinder-Oefen, das sind solche, durch welche von unten nach oben ein eiserner Cylinder geht, heizen die Stube schneller, als andere. Woher kommt das?

§ 131. Die Körper gleichen ihre Wärme nicht blos bei Berührung, sondern auch aus jeder beliebigen Entfernung aus. Der wärmere Körper regt also durch die von ihm ausgehenden Aetherwellen die Atome des kälteren zu weiteren Schwingungen an, während die Schwingungen seiner eigenen kleiner werden (wenn sie nicht neue Anregung von außen her erhalten). § 131. Strahlung der Wärme.

Die Sonne erwärmt unsere Erde aus einer Entfernung von 21 Millionen Meilen. Hält man die Hand gegen ein Kohlenfeuer oder an einen heißen Ofen, so empfindet man nur auf der zugewandten Fläche Wärme; hält man dann plötzlich ein Blatt Papier zwischen die Hand und das Feuer, so hört augenblicklich die Wärme-Empfindung auf. Wendet man die Hand gegen ein Stück Eis, so empfindet man Kälte. Wird eine Stube nach anhaltend kaltem Wetter zum ersten Male geheizt, so hat man darin ein unbehagliches Gefühl von Kälte, wenn auch die Luft derselben bis zu einem hohen Grade erwärmt ist (weil der Körper Wärme gegen die kalten Wände ausstrahlt). Die Nacht ist bei wolkenlosem Himmel stets kälter, als bei bedecktem. — In einigen Gegenden zündet man im Frühjahr, wenn das Thermometer in heiteren Nächten auf 0 Grad sinkt, in den Weinbergen oberhalb des Windes ein Rauchfeuer an, um durch die über die Weinstöcke hinziehenden Rauchwolken diese vor dem Erfrieren zu schützen. — Wenn bei Thauwetter der Himmel des Abends bald heiter, bald bedeckt ist, so sieht man den feuchten Erdboden abwechselnd gefrieren und wieder aufthauen. — Auf Wiesen, auf denen hier und da ein Baum steht, wird im Frühjahr der Boden unter den Bäumen zuerst grün.

Die im Aether erzeugten Wärmewellen folgen im Allgemeinen denselben Gesetzen als die Lichtwellen. Verbreitung der Wärmestrahlen.

1) Sie verbreiten sich von dem Körper aus

a. nach allen Seiten hin,

b. in geraden Linien (in demselben Mittel).

Ein Blatt Papier, in gerader Richtung zwischen die Hand und eine glühende Kohle gehalten, hält die Wärme ab. Beim Schatten, den ein Gegenstand im Sonnenscheine wirft, ist die Lichtgrenze zugleich Wärmegrenze.

c. mit derselben Geschwindigkeit.

Die geraden Linien, in welchen die Wärmewellen fortschreiten, nennt man **Wärmestrahlen**.

2) Die Wärmestrahlen werden auf dieselbe Weise reflectirt, wie das Licht: Reflexion der Wärmestrahlen.

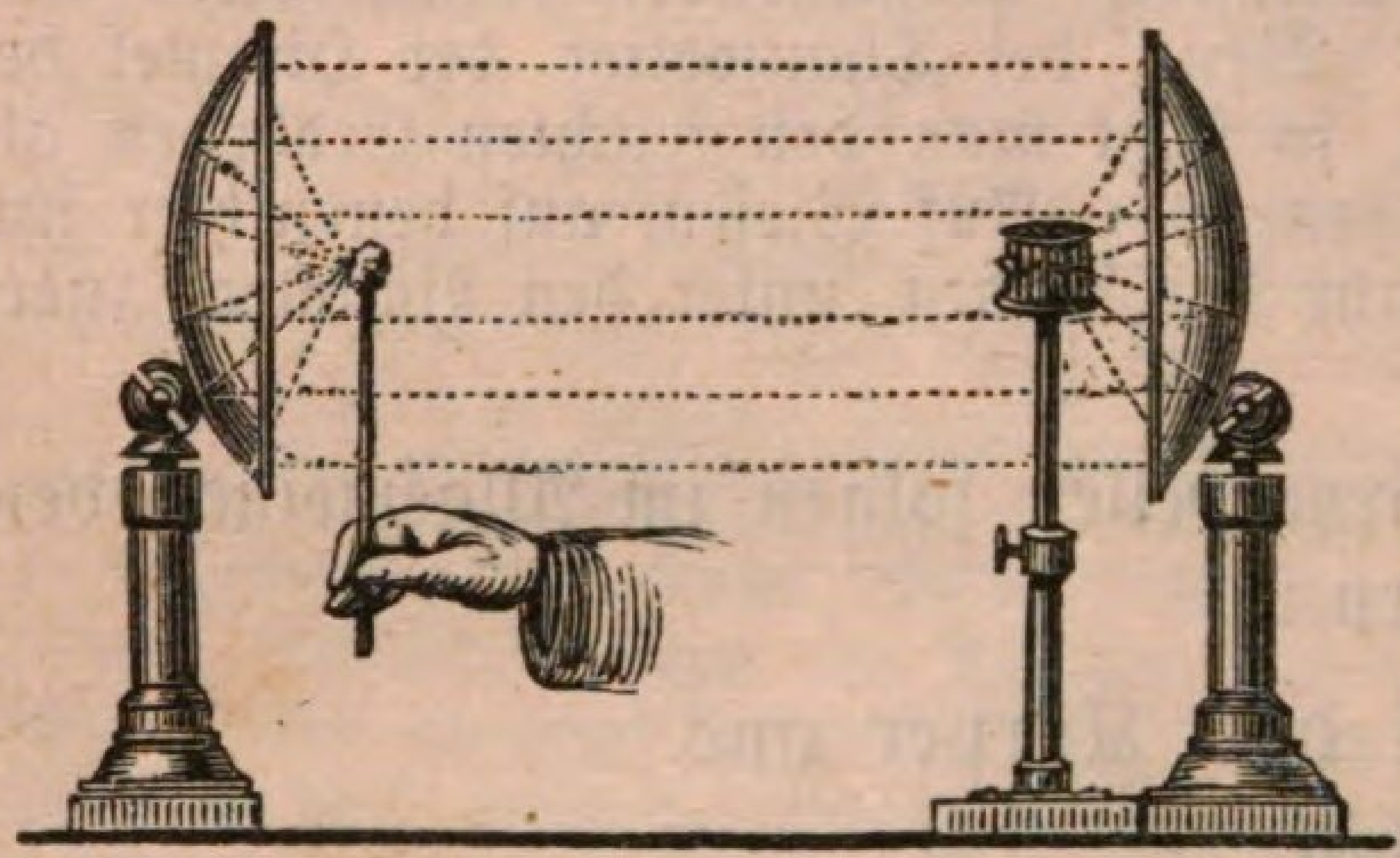
a. Von hellen polirten Körpern am besten, von rauhen, dunkelen am schlechtesten; die rauhen und dunkelen Körper werden durch die Wärmestrahlen stärker und schneller erwärmt, als die hellen und glatten, sie strahlen die Wärme aber auch schneller wieder aus.

Ein Thermometer, dessen Kugel mit Ruß geschwärzt ist, steigt, wenn man es in den Sonnenschein hängt, schneller, als ein anderes. — Der Schnee schmilzt unter dunkelfarbigen Tuchläppchen schneller, als unter hellfarbigen. — Hängt man zwei würfelförmige, gleich große Blechgefäße, von deren einem man die Außenseiten geschwärzt hat, an Schnüren auf, füllt sie mit kochendem Wasser und stellt in jedes ein Thermometer, so sinkt das Thermometer in

demjenigen, dessen Außenseiten geschwärzt sind, schneller als in dem andern. Füllt man einen hohlen Würfel von Blech, von dem die eine Seitenfläche geschwärzt, die zweite rauh gemacht, die dritte weiß gefirnißt und die vierte unverändert gelassen ist, mit kochendem Wasser und stellt vor jede Seitenwand ein Thermometer, so zeigt dasjenige, welches der geschwärzten Fläche gegenübersteht, die höchste, das der vierten gegenüberstehende die niedrigste Temperatur. — Bestreut man den Schnee mit Sand oder Staub, so schmilzt er an dieser Stelle schneller als anderswo. Wo im Winter einzelne Baumblätter auf dem Eise liegen, oder in dasselbe eingefroren sind, schmilzt bei Sonnenschein das Eis, während die übrige Eisfläche nicht thaut. Dieselbe Wirkung bringen auch dunkle im Eise steckende Holzpfähle hervor. — Glasirte Oefen halten sich länger warm als unglasirte. — In Porcellangefäßen wird Wasser langsamer warm, als in Töpfen; es behält darin aber auch seine Wärme länger, als in diesen. Im Sommer trägt man lieber hellfarbige Kleider, als dunkle. Die mit Wein oder Pfirsichen bepflanzten Wände werden oft geschwärzt, damit sie die am Tage absorbirte Sonnenwärme des Nachts an jene abgeben.

b. Der Reflexionswinkel ist gleich dem Einfallswinkel.

Fig. 184.



Die Wärmestrahlen der Sonne werden durch einen Hohlspiegel in demselben Punkte concentrirt, in welchem die Lichtstrahlen vereinigt werden. — Stellt man in den Brennpunkt eines Hohlspiegels einen Drahtbehälter mit glühenden Kohlen, die man durch Anblasen mittelst eines Blasebalgs glühend erhält, so werden in dem Brennpunkte eines gegenüberstehenden Hohlspiegels die Wärmestrahlen so vereinigt, daß hier mit Kohle geschwärzte Schießbaumwolle und Zündhölzer entzündet werden. (Fig. 184.)

Brechung der Wärmestrahlen.

3) Die Wärmestrahlen folgen beim Durchgange durch durchsichtige Körper im Allgemeinen denselben Gesetzen, als die Lichtstrahlen.

a. Sie gehen fast durch alle die Körper hindurch, durch welche das Licht hindurchgeht.

Hinter den Fensterscheiben empfindet man die Wärme der Sonnenstrahlen und eines Feuers.

b. Sie werden durch das Prisma und durch die Linsen auf gleiche Weise von ihrem Wege abgelenkt, wie das Licht.

Ein empfindliches Thermometer steigt, wenn man es in das Spectrum des Prisma's hält. — Ein Brennglas erzeugt an derselben Stelle, wo das Sonnenbild entsteht, die größte Wärme: Läßt man letzteres auf bedrucktes oder beschriebenes Papier fallen, so verkohlen die bedruckten oder beschriebenen Stellen weit schneller, als die leeren; warum?

§ 132. Diathermanismus.

§ 132. Indessen folgen die Wärmestrahlen beim Durchgange durch andere Körper nicht ganz denselben Gesetzen, wie das Licht. Die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Resultate von Versuchen zeigen

nämlich, daß von zwei Körpern derjenige, welcher die Lichtstrahlen besser durchläßt (d. h. der durchsichtigere), nicht immer auch die Wärmestrahlen besser durchläßt.

Resultate einiger Beobachtungen.

Namen der Körper.	Locatelli'sche Lampe.	Glühende Platina-Spirale.	Geschwärztes, bis 400° erwärmtes Kupferblech.	Geschwärztes, bis 100° erwärmtes Messingblech.
Freie Strahlung der Wärmequelle . . .	100	100	100	100
Steinsalz	92	92	92	92
Flußspath, klar, farblos	78	69	42	33
Kalkspath	39	28	6	0
Spiegelglas	39	24	6	0
Bergkrystall	38	28	6	0
Gyps, krystallisirt . .	14	5	0	0
Citronensäure	11	2	0	0
Alaun	9	2	0	0
Schwarzes Glas, 1 Millimeter dick	26	25	12	0
Schwarzer Glimmer .	20	20	9	0
Eis	6	0	0	0

Die Dicke der Platten betrug 2,5 Millimeter.

Folgerungen aus jenen Resultaten.

Während also z. B. schwarzes Glas noch 26 Procent der von der Locatelli'schen Lampe ausgehenden Strahlen durchläßt, läßt der viel durchsichtigere Alaun nur 9 Procent davon durch.

Außerdem zeigt die Tabelle, daß die Wärmestrahlen aus verschiedenen Wärmequellen verschiedener Natur sind.

Denn ein und derselbe durchsichtige Körper läßt von verschiedenen Wärmequellen verschieden viel Wärmestrahlen durch.

Endlich sieht man, daß das Steinsalz sich zu den verschiedenen Wärmestrahlen verhält, wie ein farbloser durchsichtiger Körper zu den verschiedenfarbigen Lichtstrahlen.

Durch Steinsalz gehen die Wärmestrahlen aus allen Wärmequellen gleich gut durch, sowie z. B. durch farbloses Glas die Lichtstrahlen jeder Farbe durchgehen, während z. B. rothes Glas die grünen Lichtstrahlen fast gar nicht, die rothen Strahlen am besten durchläßt.

Erklärung. Diejenigen Körper, welche Wärmestrahlen durchlassen, heißen diathermane, diejenigen, welche keine durchlassen, athermane Körper.

Außerdem zeigt sich bei den Wärmestrahlen auch folgende merkwürdige Erscheinung:

Wärmestrahlen, welche durch eine Glasplatte gegangen sind, werden durch eine Alaunplatte gänzlich absorbirt, während letztere die Wärmestrahlen, welche durch Citronsäure gegangen sind, fast ganz durchläßt.

Die Wärmestrahlen werden also beim Durchgange durch diathermane Körper in ihrer Natur ähnlich verändert, wie das Licht, wenn es durch gefärbte Gläser geht. So veränderte Wärmestrahlen heißen diathermanisirte Strahlen. Das Steinsalz verhält sich auch in dieser Beziehung zu den Wärmestrahlen, wie ein farbloser durchsichtiger Körper zum Lichte.

D. Thierische Wärme.

§ 133. **§ 133.** Aus einer Reihe von Beobachtungen, welche John Davy an Menschen und Thieren angestellt hat, haben sich folgende merkwürdige Resultate ergeben:

Blutwärme der Menschen, 1) Die Blutwärme war bei Kindern und Greisen, Gesunden und Kranken, bei solchen, die sich nur von Fleisch, wie bei solchen, die sich nur von Vegetabilien nähren, fast gleich. Sie schwankte zwischen 35,8° und 38,9° C. Bei ein und demselben Individuum änderte sie sich in verschiedenen Klimaten und Jahreszeiten noch nicht um einen Grad.

der Thiere. 2) Bei den Säugethieren schwankte die Blutwärme zwischen 37,2° und 39,7° C.

3) Bei den Vögeln zwischen 37,2° und 43,3° C.

4) Die Temperatur der warmblütigen Thiere ist von derjenigen des sie umgebenden Mittels unabhängig, die der kaltblütigen Thiere mit dieser fast gleich.

Es muß demnach der Organismus der warmblütigen Thiere, wenn die Temperatur der Umgebung geringer ist, Wärme erzeugen, im entgegengesetzten Falle Wärme abführen. Da nun dieselben Sauerstoff einund Kohlensäure ausathmen, so ist klar, daß der eingeathmete Sauerstoff sich mit dem Kohlenstoff des Körpers zu Kohlensäure verbindet und dadurch so viel Wärme erzeugt, als wenn eine gleiche Quantiät Kohlenstoff in der Luft verbrennt.

Hiernach ist erklärlich, warum der Nordländer mehr Speisen und namentlich mehr kohlenstoffhaltige zu sich nehmen muß, als der Südländer, warum wir im Winter mehr essen, als im Sommer (in kalter Luft zieht der Mensch bei jedem Athemzuge eine größere Masse Sauerstoff ein als in warmer, weil jene dichter ist, als diese), warum wir bei starker körperlicher Bewegung, wobei wir mehr Sauerstoff einathmen, als sonst, größere Wärme empfinden, warum wir durch jene Bewegung Appetit bekommen, und warum der Körper bei zu starker Bewegung abmagert. Die Vögel sind im Allgemeinen lebhaftere Geschöpfe, machen sich mehr Bewegung, als die Säugethiere, und diese übertreffen hierin wieder die Amphibien. Die Vögel haben das wärmste Blut und nehmen verhältnißmäßig die größte Menge Nahrung zu sich. — Thiere, welche einen Winterschlaf halten, athmen in dieser Zeit sehr langsam, ihr Puls ist sehr träge und schwach, ihre Haut fühlt sich kalt an; sie werden mager.

Die Abkühlung des Körpers wird durch die Hautausdünstnng bewerkstelligt.

Wird die Ausdünstung gehemmt, z. B. wenn wir Kleidungsstücke von luftdichtem Zeuge tragen (Gummischuhe), so empfindet man größere Wärme; ebenso wenn bei warmem Wetter die Luft fast mit Dünsten gesättigt ist. Die Fieberhitze wird durch Schweiß gemildert. Ist die Lufttemperatur sehr hoch oder machen wir uns starke Körperbewegung, so gerathen wir in Schweiß. Wir kühlen uns durch Erzeugung von Luftzug ab.

E. Meteorologische Erscheinungen.

§ 134. Wärme auf der Erdoberfläche. 1) Die Wärme auf der Oberfläche der Erde nimmt im Allgemeinen vom Aequator nach den Polen hin ab. § 134. Abhängigkeit der Temperatur von der geographischen Breite,

Jede Fläche am Aequator erhält mehr Sonnenstrahlen, als eine gleich große in der Nähe der Pole, und außerdem haben diese am Aequator eine geringere Luftmasse zu durchdringen, als an den Polen.

2) Während unter dem Aequator die Temperatur das ganze Jahr hindurch fast gleich bleibt, wird der Unterschied zwischen der Sommer- und Winter-Temperatur nach den Polen hin immer größer.

Am Aequator sind Jahr aus Jahr ein die Tage gleich lang; je weiter nach den Polen, desto größer wird der Unterschied der Tageslängen und also auch der der Temperatur.

So beträgt die höchste und niedrigste beobachtete Temperatur

in Surinam	32°	+ 21° C.
„ Cairo	40°	+ 9° „
„ Rom	37°	— 6° „
„ Paris	39°	— 22° „
„ Prag	35°	— 27° „
„ Moskau	31°	— 39° „

3) Orte, welche mitten in einer großen Länderstrecke liegen, haben kältere Winter und wärmere Sommer als solche, welche in gleicher Breite und in der Nähe des Meeres liegen, oder wohl gar vom Meere umgeben sind. von der Beschaffenheit der Umgebung und der Oberfläche.

Denn im Winter kühlt sich erstens das Meer langsamer ab, als das Land, weil die erkalteten Schichten nach unten sinken und wärmere an ihre Stelle treten; zweitens bei dem Niederschlagen der aufsteigenden Wasserdünste wird Wärme frei, und drittens die Meere der kalten Gegenden erhalten Zufluß aus den wärmeren Meeren. — Im Sommer erwärmt sich das Meer langsamer, als das Land, weil das Meer ein schlechterer Wärmeleiter ist, und weil durch das Verdunsten des Wassers Wärme gebunden wird; endlich erhält auch das wärmere Meer Zufluß aus dem kälteren. Im nordöstlichen Irland gefriert im Winter kaum Eis; daher gedeiht die Myrte dort so kräftig, wie in Portugal; auf den Küsten von Devonshire überwintert die Camellia japonica im Freien.

4) Wälder und Gebirge machen das Klima eines Ortes rauher.

Die Bäume halten die Sonnenstrahlen vom Boden ab, und sie selbst werden nicht sehr erwärmt, weil sich ihre Blätter durch Entwickelung von Gas und Dunst kühl erhalten. Die Berge werfen Schatten.

5) Ein und derselbe Ort hat die größte Tageswärme einige Stunden (2—3) nach Mittag und die niedrigste kurz vor Sonnenaufgang, die größte Jahreswärme erst nach dem höchsten Sonnenstande Maximum der Tages- und Jahreswärme.

(unsere Gegenden im Juli), die geringste erst nach dem niedrigsten Sonnenstande (im Januar).

Die Temperatur steigt, so lange der Ort mehr Wärme von der Sonne erhält, als er ausstrahlt, und fällt, sobald das Umgekehrte eintritt. Obwohl die Sonne 4 Stunden vor Mittag dieselbe Höhe über dem Horizonte hat, als 4 Stunden nach Mittag, also dem Orte zu beiden Zeiten gleich viel Wärme zustrahlt, nimmt doch die Wärme zur erstgenannten Zeit zu, zur andern ab, weil zu dieser Zeit der Ort wärmer ist und daher mehr Wärme gegen den Himmelsraum ausstrahlt, als zu jener.

Zur Bestimmung des Klima's eines Ortes beobachtet man Morgens, Mittags und Abends die Lufttemperatur und nennt das arithmetische Mittel dieser 3 Thermometerstände die mittlere Tagestemperatur; das arithmetische Mittel aus den mittleren Tagestemperaturen eines Monats oder eines Jahres heißt die mittlere Monats- oder Jahrestemperatur. Daraus ergeben sich dann die Isothermen, das sind Linien auf den Landkarten, deren Punkte alle dieselbe mittlere Jahrestemperatur haben; die Isotheren, die Linien gleicher Sommer- und die Isochimenen, die Linien gleicher Wintertemperatur.

§ 135. Temperatur des Erdbodens.

§ 135. Temperatur des Erdbodens. 1) Die Temperatur des Erdbodens hängt in den oberen Schichten im Allgemeinen von der Temperatur der Luft ab; dabei wird aber ein kahler, steiniger Boden durch die Sonnenstrahlen stärker erwärmt, als ein mit Pflanzenwuchs bedeckter; auch kühlt sich des Nachts letzterer stärker ab, als ersterer. Warum?

Die Hitze des Sandes in den afrikanischen Sandwüsten steigt oft bis auf 50—60°. — Die Temperatur des Grases sinkt des Nachts oft 6—10° unter die der Luft (wegen der stärkern Ausstrahlung und der Verdunstung).

2) Die Veränderungen in der Temperatur der Luft werden in dem Boden mit zunehmender Tiefe immer unmerklicher, z. B. in Deutschland sind die täglichen Temperaturveränderungen schon in einer Tiefe von 0,6 Meter unmerklich, in einer Tiefe von 20—24 Meter verschwinden auch die jährlichen, so daß hier die Temperatur Jahr aus Jahr ein unverändert bleibt.

Schon in unsern Kellern ist der Temperaturunterschied des Sommers und Winters geringer als auf der Oberfläche des Bodens.

3) Die Tiefe, in welcher die Temperatur constant bleibt, hängt von der Leitungsfähigkeit des Bodens und von dem Temperaturunterschiede der heißesten und kältesten Jahreszeit ab.

Die Tiefe der constanten Temperatur wird daher vom Aequator nach den Polen zu immer größer. In dem Keller des Observatoriums zu Paris hat sich seit 1671 die Temperatur nicht verändert.

4) Von da ab, wo die Temperatur constant ist, steigt sie mit zunehmender Tiefe, und zwar ungefähr mit je 40 Meter um einen Grad.

Die größte Tiefe, bis zu der man bis jetzt gelangt ist, beträgt 690 Meter. Nimmt die Temperatur in demselben Verhältnisse zu, so müssen in einer Tiefe

von 7 Meilen schon Eisen und Basalt, und in höchstens 37 Meilen Tiefe die meisten bekannten Felsarten flüssig sein.

§ 136. Temperatur der Gewässer.

§ 136. Temperatur der Gewässer. 1) Die Temperatur der oberen Wasserschichten in den Landseen ist großen Veränderungen unterworfen. Während z. B. dieselben in den Schweizerseen im Sommer eine Temperatur von 20—25° C. erreichen, gefrieren sie im Winter. Nach unten zu nimmt die Temperatur im Sommer ab; in großen Tiefen findet man nur eine Wärme von 5° C.

Soll im Winter die Oberfläche gefrieren, so muß erst die ganze Wassermasse bis auf 4° C. erniedrigt sein, bei welcher Temperatur das Wasser seine größte Dichtigkeit besitzt.

Sobald im Winter die obersten Schichten erkalten, sinken sie unter, und wärmere treten an ihre Stelle, bis die ganze Masse auf 4° C. erniedrigt ist; dann sinken die noch kälter werdenden obersten Schichten nicht mehr unter; ihre Temperatur sinkt bis auf 0°, und nun bildet sich eine Eisdecke. — Daher gefrieren seichte Gewässer eher zu, als tiefe. — Jedes Wasser belegt sich zuerst an den seichten Stellen mit Eis. — Hätte das Wasser kein Dichtigkeits-Maximum, so würden die meisten Gewässer bis auf den Grund gefrieren. Wenn bald, nachdem sich eine dünne Eisdecke gebildet hat, Schnee fällt, so thaut erstere bei tiefen Gewässern gewöhnlich wieder auf. Warum?

2) Bei Flüssen werden diese Gesetze durch die Bewegung, bei den Meeren durch den Salzgehalt des Wassers modificirt. In den Flüssen erkaltet die ganze Wassermasse gleichmäßig bis 0°, weil sie durch ihre Bewegung immer gemengt wird; dann zeigt sich auf der Oberfläche das sogenannte Treib-Eis oder Grund-Eis, das sind Eismassen, welche größtentheils aus zusammengefrorenen dünnen Eisblättchen bestehen, mit dem Strome forttreiben und an Menge zunehmen, bis die ganze Oberfläche des Flusses damit bedeckt ist. Nun frieren sie zusammen und bilden eine feste Eisdecke. Diese Eismassen bilden sich theils auf dem Grunde des Flußbettes, theils auf der Oberfläche des Wassers. Auf dieser entstehen nämlich, wie in ruhenden Gewässern, die ersten Eiskrystalle, welche aber alsbald vom Strome fortgeführt werden und sich schwimmend zu dünnen Eisplatten erweitern. Diese Eisplatten schieben sich bei der an verschiedenen Stellen ungleichen Strömungsgeschwindigkeit über einander und zerbrechen dadurch in kleine Stücke, welche zu jenen unregelmäßigen Massen zusammengefrieren. Diese Entstehungsweise ist namentlich dann leicht zu beobachten, wenn die Lufttemperatur eine sehr niedrige, etwa 8—10° unter Null ist.

Außerdem überzieht sich auch der Grund des Flußbettes mit Eis, wie man sich an seichten Stellen leicht überzeugen kann, und wenn man einen Stein oder einen andern Körper an einer Schnur auf den Grund versenkt, so ist er nach einiger Zeit mit einer Eisglasur überzogen, die Schnur aber mit Eiskrystallen besetzt, welche denen des Kandiszuckers ähnlich sind. Hat diese auf dem Grunde entstehende Eisdecke eine gewisse Dicke erreicht, so löst sie sich, weil sie specifisch leichter ist als das Wasser, stückweise vom Boden los und steigt an die Oberfläche.

Sobald sich auf der Oberfläche des Flusses durch Zusammenfrieren des Treib-Eises eine feste Decke gebildet hat, hört die Eisbildung auf dem Grunde auf und das dort vorhandene Eis schmilzt wieder.

3) In den Meeren der Tropen nimmt die Temperatur nach unten hin ab, in den Polar-Meeren zu. In der Tiefe der ersteren hat man eine Temperatur von ungefähr 3° C. gefunden, wahrscheinlich in Folge einer unteren Strömung aus den Polargegenden nach dem Aequator zu und einer umgekehrten in den oberen Schichten.

Im mittelländischen Meere ist die Temperatur in der Tiefe nicht so niedrig.

§ 137. Temperatur der Atmosphäre.

§ 137. Erwärmung der Luft und Störung ihres Gleichgewichts durch Verschiedenheit der Erwärmung. 1) Unmittelbar über dem von der Sonne beschienenen Boden ist die Lufttemperatur am höchsten; von da nimmt sie mit zunehmender Höhe ab, ungefähr mit 220—250 Meter um einen Grad, so daß man unter allen Breitegraden auf den hohen Gebirgen eine so niedere Temperatur erreicht, daß dort das ganze Jahr hindurch der Schnee liegen bleibt (Schneegrenze).

Denn die Luft absorbirt nur wenig Wärmestrahlen; sie erhält ihre Wärme meist von dem erwärmten Boden durch Mittheilung, und außerdem hat die dünnere Luft größere Wärme-Capacität. Auf schmalen Bergrücken oder spitzen Berggipfeln ist die Temperatur niedriger, als auf gleich hohen Plateaux. — Die Schneegrenze hat in Amerika unter dem Aequator ungefähr eine Höhe von 4700 Meter, in den Pyrenäen (42½—43° n. Br.) eine Höhe von 2700, im Innern Norwegens (60—62° n. Br.) 1570 Meter.

Entstehung des Windes.

2) Der Wind entsteht durch ungleiche Erwärmung der Luft, indem die warme Luft in die Höhe steigt, und kalte an ihre Stelle strömt.

Oeffnet man in einem geheizten Zimmer ein Fenster oder eine Thür, so wird eine Lichtflamme oben nach außen, und unten nach innen geweht. — Dicht am geheizten Ofen fliegen leichte Federchen in die Höhe, ebenso Rauch, Staub im Cylinder einer Lampe. — In Schornsteinen findet ein starker Luftzug nach oben statt, der desto stärker ist, je höher der Schornstein, warum? — Gewitterwolken erzeugen Wind.

Passatwinde.

An den Küsten des Meeres weht des Morgens der Wind vom Meere nach dem Lande, des Abends vom Lande nach dem Meere, weil sich das Meer langsamer erwärmt, aber auch langsamer wieder abkühlt, als das Land. Zu beiden Seiten des Aequators, auf der nördlichen Halbkugel in einem Gürtel von 30°, auf der südlichen in einem Gürtel von ungefähr 25° Breite weht das ganze Jahr hindurch ein regelmäßiger Wind, auf der Südseite ein Südost, auf der Nordseite ein Nordostwind. Beide werden in der Nähe des Aequators zu einem Ostwinde. — Passatwinde. — Zwischen diesen beiden Zonen auf der Nordseite des Aequators herrscht in einem Gürtel von 6° Breite Windstille, abwechselnd mit Gewitterstürmen. — Region der Calmen.

Die heiße Luft der Tropen steigt nämlich in die Höhe und kalte strömt von den Polen zu. Da nun die Luft an der Achsendrehung der Erde Theil nimmt, so hat die von den Polen nach dem Aequator kommende Luft eine geringere Geschwindigkeit von West nach Ost, als die Erde selbst zwischen den

Wendekreisen, und muß daher als Ostwind erscheinen. — Die Windstillen entstehen dadurch, daß der zu heftig aufsteigende Luftstrom den sanften Passatwind aufhebt. — Der letztere ist nur auf dem Meere in einer Entfernung von mehreren Meilen vom Lande in seiner Regelmäßigkeit bemerkbar. Warum? — Die aufsteigende Luft strömt in den oberen Regionen nach den Polen; es weht daher oben auf der Nordhälfte der Erde ein Südwest-, auf der Südhälfte ein Nordwest-Passat, 1835 wurde die von dem Vulcane von Cosiguina im Staate Guatemala ausgeworfene Asche durch den obern Passat nach Jamaica geführt, obgleich in den unteren Regionen der Nordost-Passat herrschte. Nach den Polen hin senkt sich die sich immer mehr abkühlende Luft des oberen Stromes, und es entstehen neben einander hergehende Strömungen, die durch die Beschaffenheit der Erdoberfläche vielfach in ihrer Richtung geändert werden.

§ 138. Messung der Luftfeuchtigkeit.

§ 138. Feuchtigkeit der Luft. Da das Wasser bei jeder Temperatur verdunstet, so muß die Atmosphäre stets Wasserdampf enthalten. Sie vermag aber nur eine gewisse Menge aufzunehmen, die sich nach ihrer Temperatur richtet (s. § 124); der Wasserdampf erreicht seinen Sättigungspunkt. Wie weit der Dampf von diesem Sättigungspunkt entfernt ist, erfährt man durch das Daniell'sche Hygrometer. (Fig. 185.)

Fig. 185.

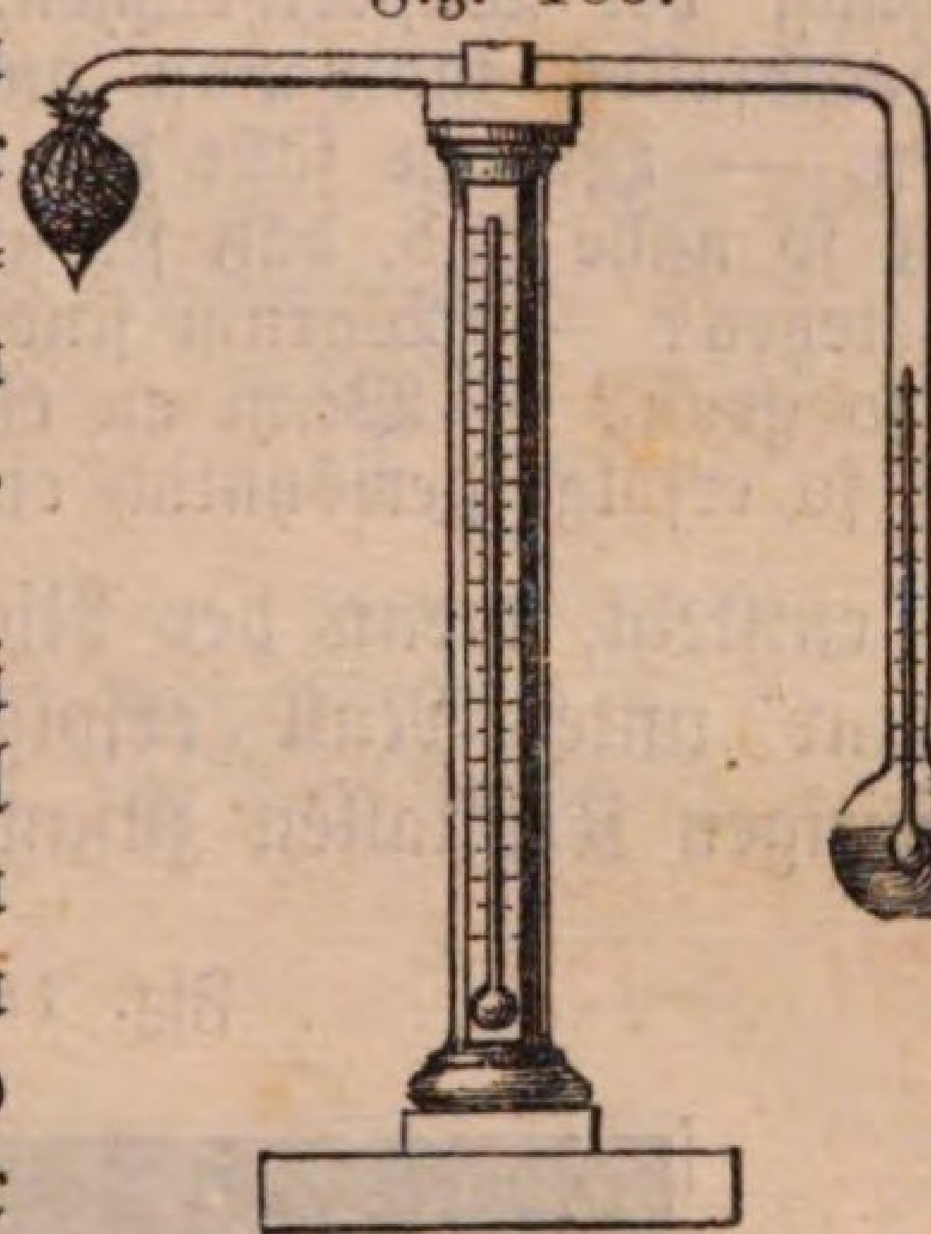


Fig. 186.



Dasselbe besteht aus zwei Kugeln, welche durch eine zweimal rechtwinkelig gebogene Röhre in Verbindung stehen, und von denen die eine mit feiner Leinwand umwickelt, die andere mit einer Goldzone versehen und zur Hälfte mit Aether gefüllt ist, in welchem ein Thermometer steht. Wird nun die Leinwand mit Aether befeuchtet, bis sich die Goldzone mit Thau beschlägt, so zeigt das innere Thermometer, bis zu welcher Temperatur die Luft erniedrigt werden müßte, damit sie durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf gesättigt werde. Diese Temperatur nennt man den Thaupunkt.

Die Erfindung dieses Instruments fällt in das Jahr 1819.

Der Thaupunkt wird auch durch August's Psychrometer (Fig. 186) gefunden. Es besteht aus zwei Thermometern. Die Kugel des einen ist mit feiner Leinwand umwickelt. Wird diese mit Wasser befeuchtet, so sinkt es bei hinreichendem Luftzuge bis zu dem Grade, bei welchem die Luft durch den in ihr enthaltenen Wasserdampf gesättigt wäre.

Aus dem Thaupunkte und der Tabelle auf S. 189 läßt sich die Menge des in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfes finden.

Wir nennen die Luft sehr feucht, wenn sie ihrem Sättigungspunkte sehr nahe ist. Bei ein und demselben Wassergehalte kann uns daher die Luft einmal sehr feucht und ein andermal sehr trocken erscheinen. Warum?

§ 139. Producte des atmosphär. Dampfes. Der Nebel, die Wolken,

§ 139. Aus dem in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampfe entstehen: Nebel, Wolken, Regen, Schnee, Hagel, Thau, Reif.

1) Nebel entsteht, wenn durch Erkaltung die Luft ihren Sättigungspunkt erreicht; dann verdichtet sich der Dunst zu sehr kleinen Wassertheilchen. Wolken unterscheiden sich vom Nebel nur durch ihre größere Entfernung von der Erde.

Der von kochendem Wasser aufsteigende rauchähnliche Körper ist Nebel. — Des Abends zeigt sich Nebel über Teichen und feuchten Wiesen. Warum ist der Nebel im Herbst und Winter häufiger, als im Sommer? Im Sommer verwandelt sich bisweilen der blaue Himmel plötzlich in grauen Regenhimmel, ohne daß man hat Wolken heranziehen sehen. Umgekehrt: Hat eine Gegend lange Zeit hindurch trockne, heiße Witterung gehabt, so verschwinden oft die heranziehenden Wolken über der Gegend.

der Regen,

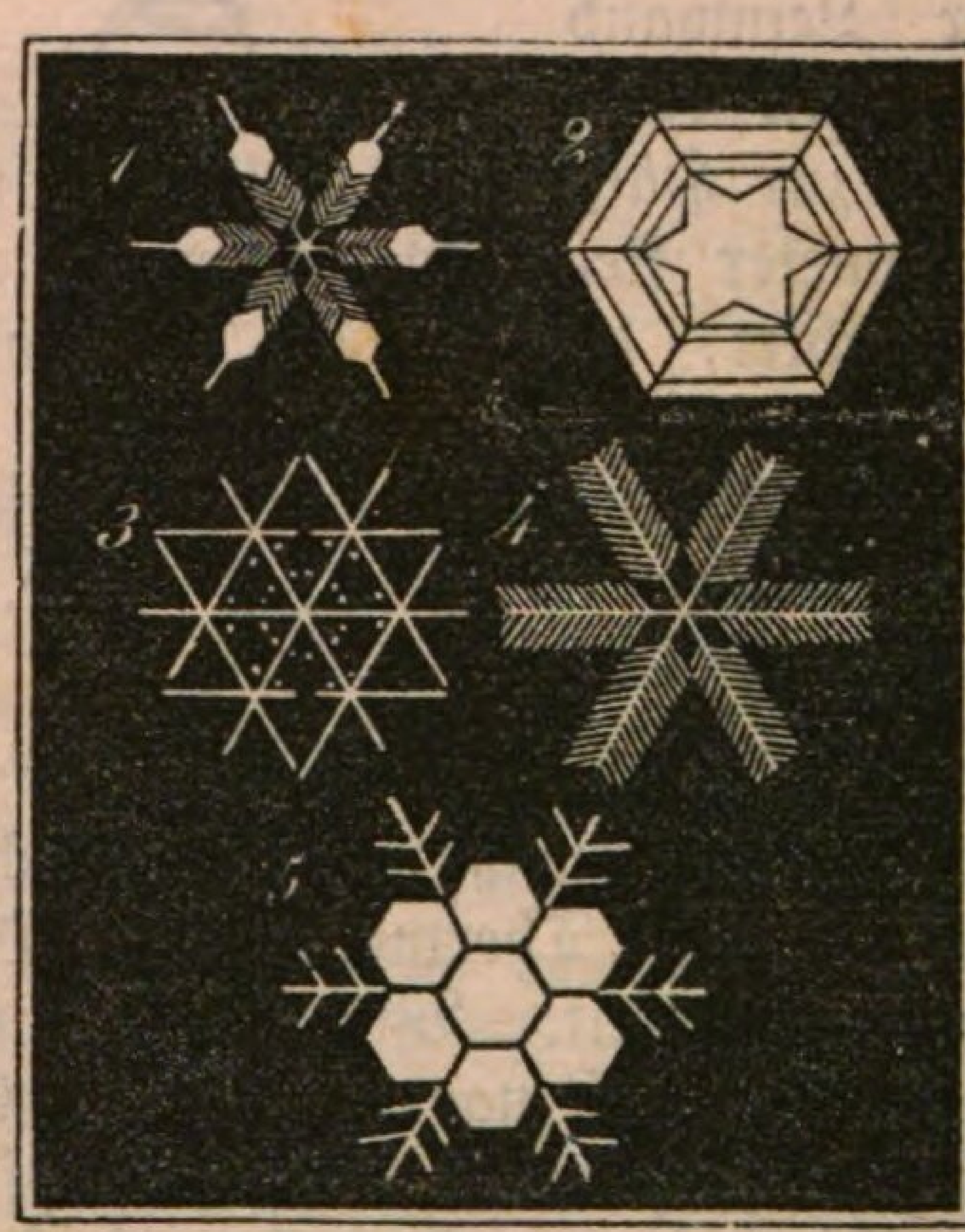
2) Der Regen entsteht, wenn sich die Wassertheilchen des Nebels zu größeren Tropfen vereinigen, welche dann herabfallen.

Die Entstehung der Wassertheilchen, ihr Ansammeln zu Tropfen, und endlich deren Herabfallen kann man an den Fensterscheiben einer geheizten Stube beobachten. — Warum fällt der Regen in kleinen Tropfen, wenn die Wolken der Erde so nahe sind, daß sie als Nebel erscheinen, und in größeren, wenn sie höher stehen? — Warum sind namentlich die ersten Tropfen eines Gewitterregens so groß? — Wenn an einem heißen Tage eine plötzliche Abkühlung eintritt, so erfolgt gewöhnlich ein heftiger Regen. Warum?

der Schnee,

3) Schnee entsteht, wenn der Niederschlag des Wasserdampfes bei einer Temperatur unter Null erfolgt. Die Wassertheilchen schießen dann zu sechsseitigen Krystallen zusammen. (Fig. 187).

Fig. 187.



Bei ruhigem, milden Wetter fallen große Flocken, bei stürmischem oder sehr kaltem kleine; warum? An den eisernen Fensterstäben der Keller, der Ställe und dgl. entsteht Schnee, ebenso an den Fensterscheiben, bei nebeligem Wetter an den Zweigen der Bäume. Bisweilen fällt gefrorener Regen, kleine durchsichtige Eiskügelchen, gewöhnlich, wenn nach strenger Kälte die Witterung

mild wird. Wie läßt sich das erklären? Warum wird die Temperatur in der Regel etwas milder, wenn es anfängt zu schneien?

4) Graupeln sind Kügelchen aus zusammengeballtem Schnee. Sie entstehen gewöhnlich, wenn die Temperatur nicht viel unter Null ist, bei windigem Wetter (besonders häufig im März und April). Graupeln,

5) Hagel sind scharfkantige Eisstücke, an denen man oft mehrere Schichten unterscheiden kann und die bisweilen die Größe eines Tauben-eies und darüber haben. Ueber die Entstehung derselben ist man noch im Unklaren. Das scheint gewiß, daß sie nur nach und nach durch Niederschlag bis zu dieser Größe anwachsen können; aber man weiß nicht, woher die große Kälte, die zur Bildung so großer Eisstücke erforderlich ist, und wie es möglich ist, daß Stücke Eis so lange Zeit in der Luft erhalten werden können, bis sie zu dieser Größe anwachsen. Da Hagel nur bei Gewittern fällt, so ist ohne Zweifel bei der Bildung desselben die Electricität im Spiele. Hagel,

6) Thau entsteht, wenn in hellen, windstillen Nächten durch Wärme-ausstrahlung des Bodens dieser erkaltet und durch ihn der unmittelbar über ihm in der Luft befindliche Wasserdampf unter den Sättigungs-punkt abgekühlt wird. Anstatt des Thaues entsteht Reif, wenn die Temperatur unter Null ist. der Thau.

Warum entsteht kein Thau und Reif, wenn der Himmel bedeckt ist, oder wenn Wind weht? Warum entsteht unter Tischen und Bänken, die im Freien stehen, wenig oder gar kein Thau? Warum bildet sich mehr Thau am Grase, als auf dem kahlen Boden?

Fünfter Abschnitt.

Magnetismus, Electricität, Galvanismus.

A. Magnetismus.

Allgemeine Gesetze des Magnetismus.

§ 140. Was ist ein Magnet?

§ 140. Es finden sich in der Erde Eisenerze, welche die Eigenschaft haben, Eisen anzuziehen. Man nennt sie Magnete, Magnetsteine, natürliche Magnete. Sie bestehen aus Eisenoxydul-Oxyd.

Auch Eisenstäben kann die magnetische Kraft ertheilt werden; sie heißen künstliche Magnete.

Schon Plato und Pythagoras erwähnen die magnetische Kraft.

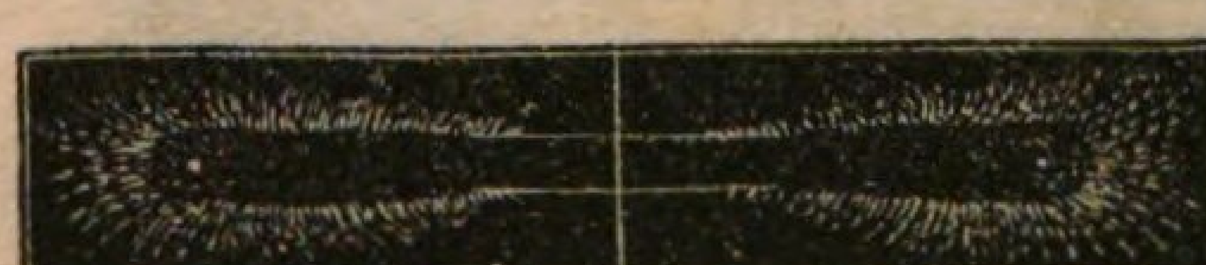
§ 141. Wirksamkeit des Magneten.

§ 141. 1) Die magnetische Kraft wirkt durch andere zwischen den Magneten und das Eisen gehaltene Körper hindurch.

Hängt man einen dünnen Eisendraht von etwa 2 Decimeter Länge an einem Faden so auf, daß er horizontal schwebt, und man nähert dem einen Ende desselben seitwärts einen Magneten, so dreht sich derselbe nach diesem hin, auch wenn man ein Brett, ein Buch, eine Glasscheibe, oder auch die Hand dazwischen hält.

2) In jedem Magnete finden sich zwei Stellen, in welchen das Eisen am stärksten, und zwischen diesen eine, in welcher es gar nicht angezogen wird. Jene beiden ersten heißen Pole, letztere Indifferenzstelle.

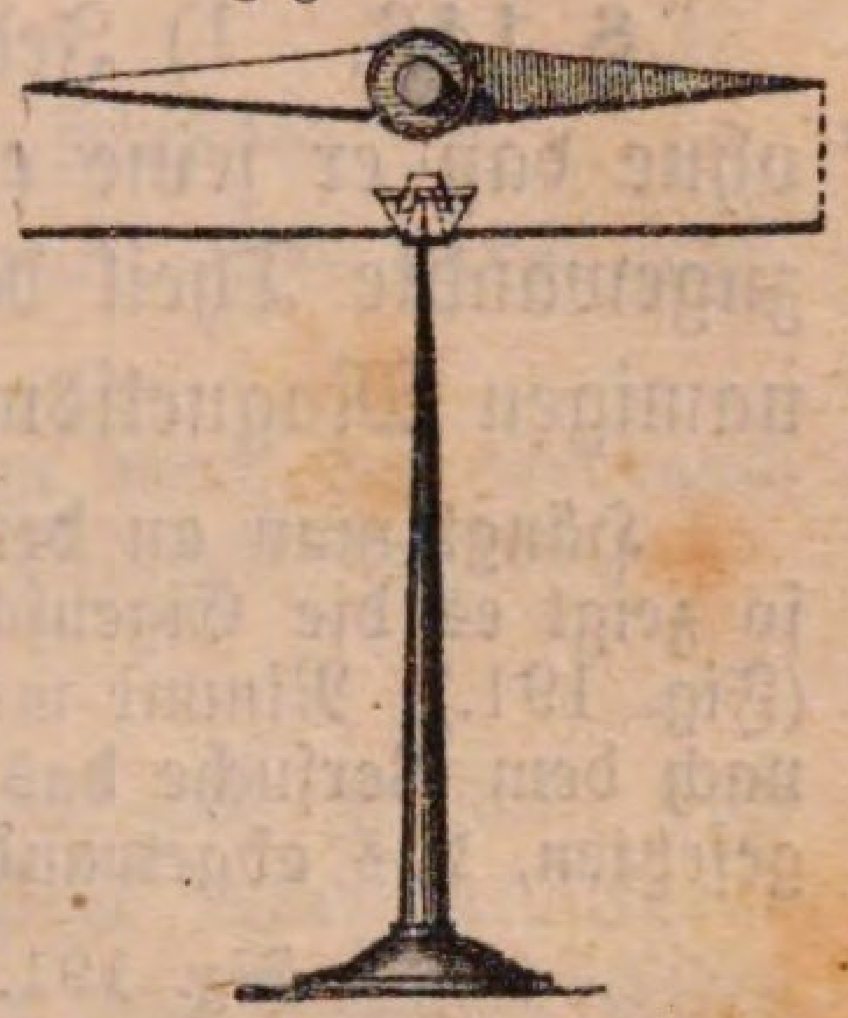
Fig. 188.



Man erkennt die Abnahme der Anziehungsstärke nach der Indifferenzstelle zu, wenn man den Magneten in Eisenfeilspäne legt (Fig. 188), oder indem man verschieden schwere Schlüssel, welche der Magnet an den Polen trägt, nach der Indifferenzstelle hinschiebt.

§ 142. Giebt man einem Magneten freie Bewegung, so stellt er sich immer so, daß der eine Pol, und zwar stets derselbe, nach Norden, der andere nach Süden gerichtet ist. Ersterer heißt **Nordpol**, letzterer **Südpol**. § 142. Richtung des beweglichen Magneten.

Fig. 189.



Es giebt also in jedem Magneten zwei verschiedene magnetische Kräfte, Nord- und Süd-Magnetismus genannt.

Freie Bewegung giebt man dem Magneten meist dadurch, daß man ihn in der Mitte mit einem Agathütchen versieht und dieses auf eine feine Spitze stellt. Eine solche Vorrichtung heißt **Magnetnadel** (Fig. 189).

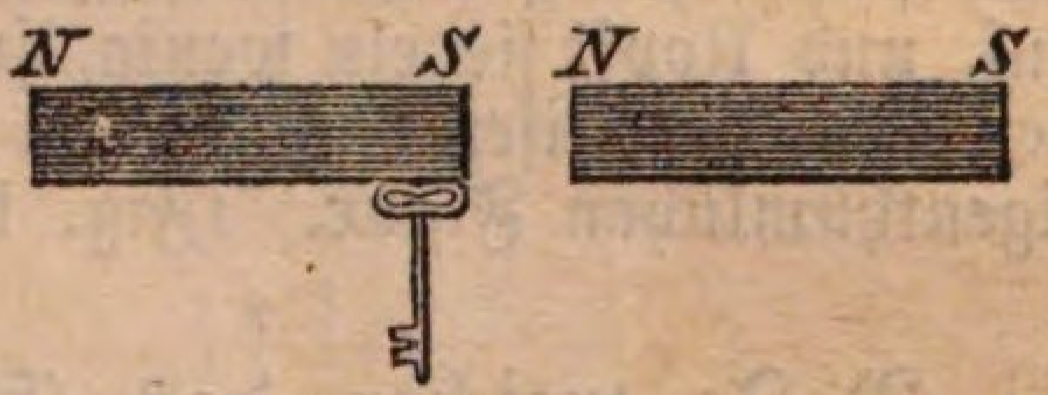
Die Magnetnadel wurde 1300 in Europa bekannt.

§ 143. 1) Gleichnamige Pole stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an. (Gesetz der Polarität.) § 143. Wirkung zweier Magnete auf einander.

Hält man die entgegengesetzten Pole zweier gleich starken Magnete aneinander, so zeigen sie nach außen keine Wirkung; entfernt man sie wieder von einander, so haben sie wieder ihre volle Kraft; also:

2) Entgegengesetzte Magnetismen binden einander.

Fig. 190.



Hängt man an den einen Pol eines Magneten (Fig. 190) ein Stück Eisen, z. B. einen Schlüssel, und man nähert diesem Pole den entgegengesetzten eines gleich starken Magneten, so fällt der Schlüssel ab.

3) Zwei gleich starke Magnete, mit den gleichnamigen Polen zusammengehalten, heben ihre Wirkung auf, sie vernichten sich. Ist der eine stärker, als der andere, so wird der schwächere erst aufgehoben und dann umgekehrt, der Magnetismus des stärkeren aber geschwächt.

§ 144. Wird ein Magnet in der Indifferenzstelle oder auch anderswo in zwei Theile zerbrochen, so sind diese vollständige Magnete, deren Pole in derselben Richtung liegen, wie sie in dem ganzen Magneten lagen. § 144.

§ 145. Die magnetische Kraft nimmt (wie alle von einem Punkte ausgehenden Kräfte) ab, wie das Quadrat der Entfernung zunimmt. § 145. Stärke der magnetischen Kraft in verschiedenen Entfernungen.

Bringt man eine Magnetnadel aus ihrer gewöhnlichen Richtung, so macht sie Pendelschwingungen, aus deren Zeitlänge man, wie bekannt, die Größe der Kraft berechnen kann, mit welcher sie in ihre ursprüngliche Lage zurückgezogen wird. Nähert man dann dem einen Pole derselben den entgegengesetzten eines Magneten, so daß dieser Pol in der Richtung liegt, welche die

ruhende Magnetnadel hat und läßt sie jetzt schwingen, so ist die Schwingungszeit kürzer, und aus ihr kann man wieder die Stärke der Anziehungskraft berechnen. Diese aber ist gleich der Summe der vorhin berechneten Kraft und der Anziehungskraft des genäherten Magneten, aus der sich dann die letztere finden läßt.

§ 146. Wirkung des Magneten auf Eisen.

§ 146. 1) Jeder magnetische Pol macht Eisen zum Magneten, ohne daß er seine eigene Kraft verliert, und zwar erhält der ihm zugewandte Theil den entgegengesetzten, der abgewandte den gleichnamigen Magnetismus. (Gesetz der Vertheilung.)

Hängt man an den einen Pol eines Magneten ein Stück weiches Eisen, so zeigt es die Eigenschaften eines Magneten, z. B. es zieht Eisenfeile an. (Fig. 191.) Nimmt man anstatt des weichen Eisens eine Nähnadel, so hat nach dem Versuche das dem Pole zugewandte Ende derselben den entgegengesetzten, das abgewandte den gleichnamigen Magnetismus.

Fig. 191.

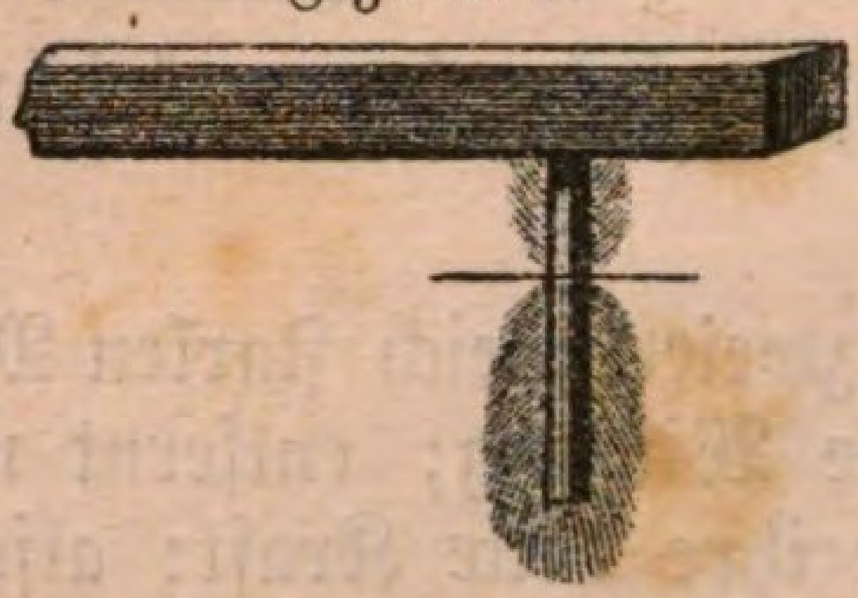
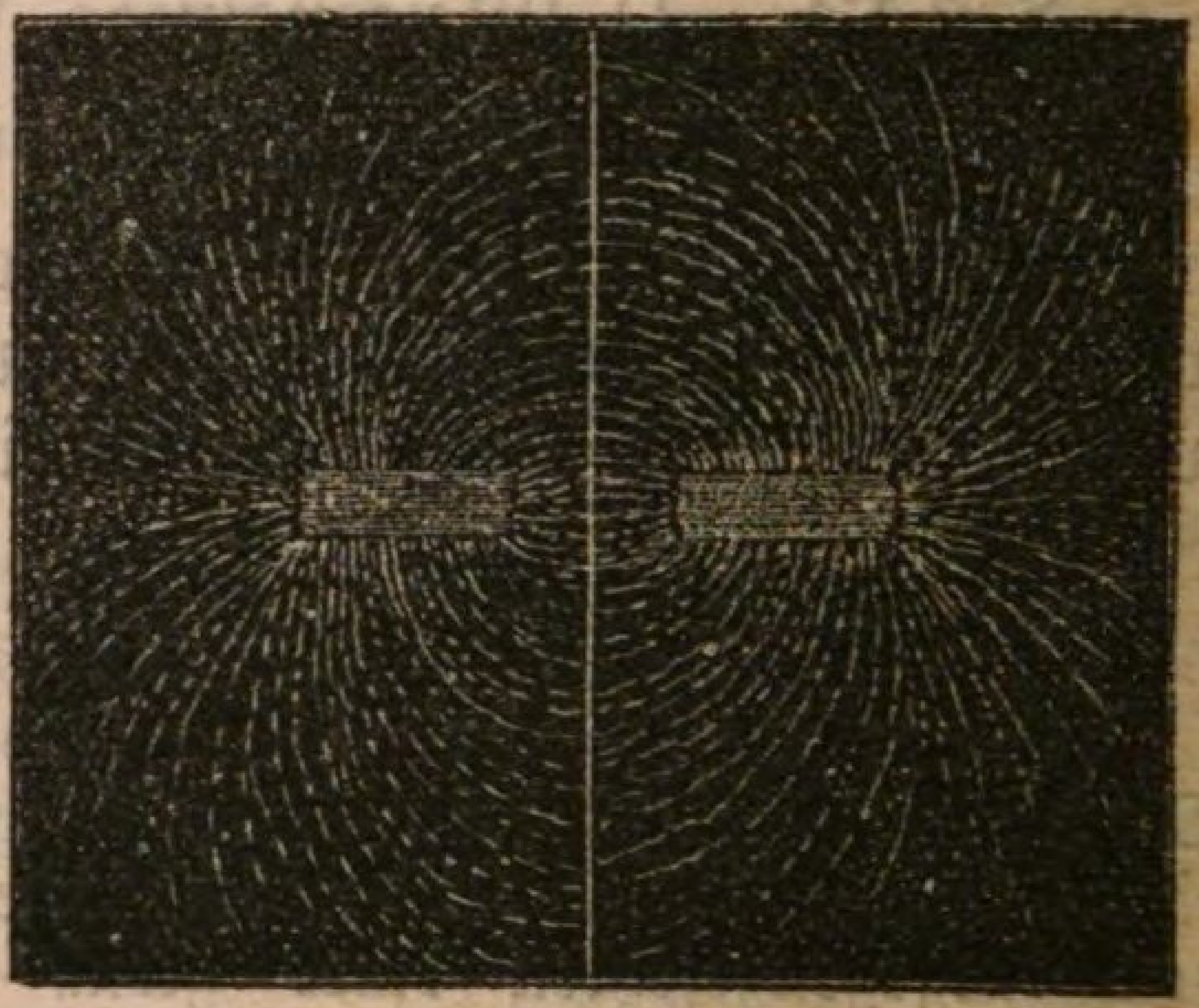


Fig. 192.



Legt man über einen Magneten eine Pappscheibe, streut Eisenfeile darauf, und klopft sie ein wenig, so ordnen sich die Eisenfeilspäne zu einer eigenthümlichen Figur. (Fig. 192.)

2) Je weicher das Eisen ist, desto leichter nimmt es den Magnetismus auf, verliert ihn aber auch desto leichter; und zwar wird das ganz weiche Eisen schon in einiger Entfernung vom magnetischen Pole zum Magneten, verliert aber auch gleich wieder den Magnetismus, sobald es von dem Magneten entfernt wird, während hartes Eisen oder Stahl nur durch Berührung oder Bestreichen mit einem Pole zum Magneten wird, dann aber auch Magnet bleibt.

Die Fähigkeit, den Magnetismus zu behalten, nennt man Coërcitivkraft.

§ 147. Erzeugung künstlicher Magnete.

§ 147. Auf dem Gesetze der Vertheilung beruht:

1) Die Erzeugung künstlicher Magnete.

Man wendet dazu hauptsächlich zwei Methoden an, die des „getrennten Striches" und die des „Doppelstriches". Ersterer besteht darin, daß man einen Stahlstab (am besten angelassenen, nicht glasharten) mit zwei entgegengesetzten Polen von der Mitte aus in entgegengesetzter Richtung streicht, letzterer darin, daß man mit beiden Polen von der Mitte aus zugleich nach dem einen und von da nach

dem andern Ende des Stabes streicht und sie zuletzt in der Mitte desselben abhebt.

Die Stärke des erzeugten Magneten hängt ab:

a. von der Stärke des erzeugenden Magneten,

b. von der Quantität, und

c. von der Qualität der Stahlmasse des Stabes.

Auch durch Erschütterung, durch Rosten, oder auch blos durch senkrechte Stellung wird Eisen magnetisch.

Stählerne Werkzeuge, z. B. Sägen, Feilen, werden durch den Gebrauch magnetisch, ebenso die Eisenbahnschienen, die Stäbe in eisernen Gittern.

2) Die Conservirung der Magnete. Conservirung der Magnete.

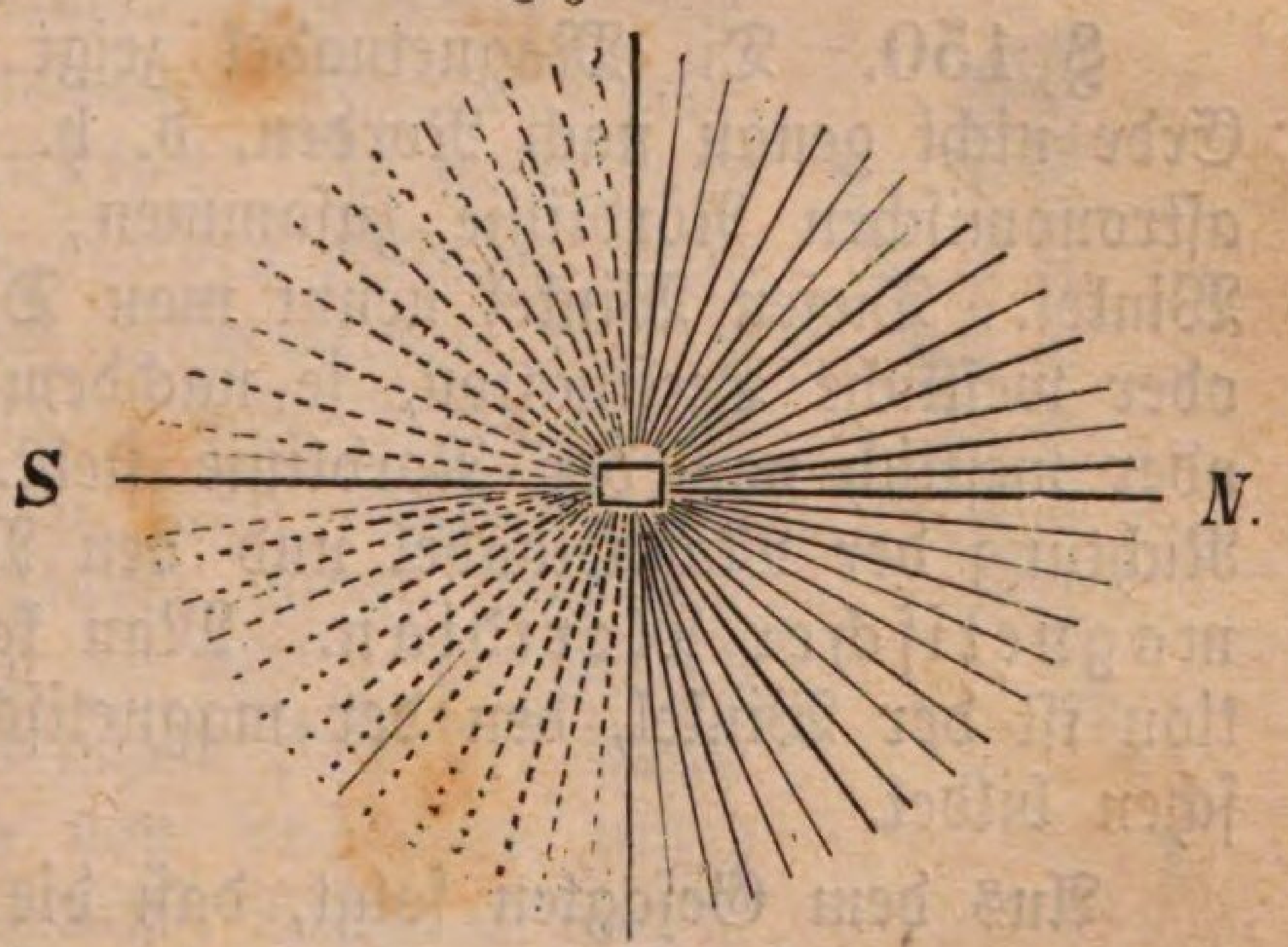
Die Kraft eines Magneten wird dadurch erhalten und gestärkt, daß man ihn beschäftigt, d. h. daß man an jedem Pole einen entgegengesetzten anbringt, was auch durch bloßes Anlegen von weichem Eisen geschieht.

Anker, Armatur, magnetische Magazine.

Durch Erwärmung wird die magnetische Kraft geschwächt, durch Rothglühhitze vollständig vernichtet; durch Feuchtigkeit und Erschütterung wird sie ebenfalls vermindert.

§ 148. 1) Die Erscheinung, daß alle Theile eines Magneten, in so viele man ihn auch zerbrechen mag, vollständige Magnete sind, berechtigt zu der Hypothese: daß alle Moleküle eines Magneten selbstständige Magnete sind, deren magnetische Achse parallel mit der Hauptachse (Verbindungslinie des Nord- und Südpols) liegen. § 148. Erklärung der magnetischen Erscheinungen.

Fig. 193.



2) Die Erscheinung, daß ein Magnet Eisen nicht nur in der Richtung seiner Achse, sondern auch seitwärts anzieht, führt auf die Hypothese, daß die einzelnen Moleküle in den durch Fig. 193 dargestellten Richtungen wirken, wo die punktirten Linien die Wirkungsrichtung des Süd-, die ausgezogenen die des Nordmagnetismus bedeuten.

3) Die Erscheinung, daß Eisen durch einen Magnet selbst zum Magnet wird, ohne daß der Magnet etwas von seiner Kraft abgiebt, führt auf die Hypothese, daß jedes Eisenmolekül ein Magnet sei, aber daß in dem unmagnetischen Eisen die Molekularmagnete ungeordnet liegen.

Nimmt man zu diesen 3 Hypothesen noch die Thatsache, daß sich gleichnamige Magnetpole abstoßen, ungleichnamige anziehen, so lassen sich

daraus alle in den vorangehenden Paragraphen angeführten Erscheinungen erklären.

Erdmagnetismus.

§ 149. Die Erde wirkt wie ein Magnet.

§ 149. Die Magnetnadel stellt sich, wie schon in § 142 angegeben ist, stets in dieselbe Richtung, nämlich mit dem einen Pole nach Norden zu; und eine Magnetnadel, die in der Gegend des Aequators horizontal steht, neigt sich, wenn man sich nördlich vom Aequator entfernt, mit dem Nordpole, wenn man sich südlich entfernt, mit dem Südpole der Erde zu, und zwar desto mehr, je mehr man sich den Polen der Erde nähert. Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen sich, wenn man unter eine Magnetnadel in horizontaler Richtung einen andern, etwas langen Magneten hält: die Nadel stellt sich in die Richtung des Magneten und neigt sich bald mit dem einen, bald mit dem andern Ende dem Magneten zu, je nachdem man sie von der Indifferenzstelle nach diesem oder jenem Pole hinführt, während sie in der Mitte über ihm horizontal steht. Daher kann man aus jenen Erscheinungen schließen, daß die Erde selbst ein Magnet sei, dessen Südpol im Norden und dessen Nordpol im Süden liegt. Und diese Ansicht wird dadurch bestätigt, daß ein Stab von weichem Eisen, in der Richtung der Magnetnadel und mit dem einen Ende nach unten gehalten, magnetisch wird, und zwar so, daß auf der nördlichen Halbkugel das nach unten gehaltene Ende Nord-, auf der südlichen Südmagnetismus erhält.

§ 150. Declination.

§ 150. Die Magnetnadel zeigt aber an den meisten Orten der Erde nicht genau nach Norden, d. h. ihre Richtung fällt nicht mit der astronomischen Nordlinie zusammen, sondern bildet mit dieser einen Winkel. Diesen Winkel nennt man **Declination**, und zwar östliche oder westliche Declination, je nachdem der Nordpol der Nadel östlich oder westlich von der Nordlinie steht. Die Ebene, welche durch die Richtung der Magnetnadel und den Mittelpunkt der Erde geht, heißt **magnetischer Meridian**. Man kann daher auch sagen: Declination ist der Winkel, den der magnetische Meridian mit dem astronomischen bildet.

Aus dem Gesagten folgt, daß die magnetische Achse der Erde und ihre magnetischen Pole nicht in der astronomischen Achse und den astronomischen Polen liegen.

§ 151. Linie ohne Abweichung, isogonische Linien.

§ 151. Die Punkte der Erdoberfläche, in welchen der magnetische Meridian mit dem astronomischen zusammenfällt, bilden eine ganz unregelmäßige Linie, welche, aus dem Nordpolareis herabkommend, durch's weiße Meer, Rußland, den Caspisee geht, sich dann um Vorder-Indien herumzieht, Hinter-Indien schneidet und bis zur nordsibirischen Küste läuft, von wo sie zwischen Kamschatka und Japan hindurch wieder nach Hinter-Indien zurückkehrt, das indische Meer und Australien schneidet

und endlich im südlichen Polareise verschwindet. Auf der westlichen Halbkugel kommt sie aus dem südlichen Polareise, tritt nördlich von Rio Janeiro in das Festland von Amerika, durchläuft dieses in nördlicher Richtung und verliert sich im nördlichen Polareise.

Man nennt diese Linie „Linie ohne Abweichung".

Daraus geht hervor, daß die magnetische Achse die astronomische Achse auch nicht einmal schneidet (denn sonst müßten die Orte ohne Declination in ein und demselben astronomischen Meridian liegen), daß überhaupt die Erde kein einfacher Magnet sei.

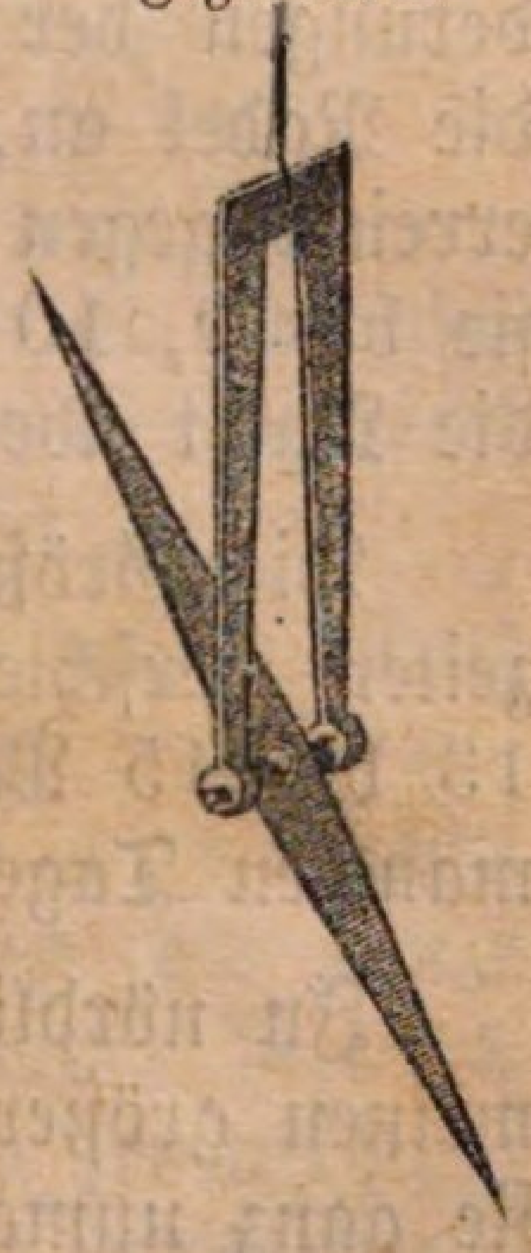
Da die Kenntniß der Declination sowohl für die Wissenschaft, als auch für die Schifffahrt von Wichtigkeit ist, so hat man Karten entworfen, auf denen die Orte, welche gleiche Declination haben, durch Linien angedeutet sind. Diese heißen isogonische Linien.

Wie lange die Richtung der Magnetnadel bekannt ist, ist unbestimmt, aber schon im 13. Jahrhundert finden sich Andeutungen derselben. Die ersten Karten für die Declination wurden von Halley am Ende des 17. Jahrhunderts (1683) entworfen.

§ 152. Inclination, isoclinische Linien.

§ 152. Die Abweichung eines frei schwebenden Magneten von der horizontalen Richtung heißt Inclination und wird vermittelst einer Magnetnadel, welche sich um eine horizontale Achse dreht (Inclinationsnadel), beobachtet (Fig. 194). Die Inclination ist, wie die Declination, an verschiedenen Orten der Erde verschieden. In der Gegend des Aequators zieht sich um die Erde eine unregelmäßige, den Aequator zweimal schneidende Linie, in deren Punkten die Inclinationsnadel horizontal steht. Sie heißt magnetischer Aequator. Je mehr man sich von diesem nach Süden oder Norden entfernt, desto mehr nimmt die Inclination im Allgemeinen zu, in hohen Breiten ist sie so bedeutend, daß der Compaß unbrauchbar wird. Capitän Roß fand 1831 in der Nähe von Boothialand 80° westlicher Länge und 70° nördlicher Breite die Inclination = 90°. Er befand sich also über dem einen magnetischen Pole der Erde. Ein anderer Pol scheint südlich von Australien unter 150° östlicher Länge und 80° südlicher Breite zu liegen.

Fig. 194.



Die Linien, welche die Orte von gleicher Inclination mit einander verbinden, heißen isoclinische Linien.

Die isogonischen Linien müssen alle sowohl durch die magnetischen wie die astronomischen Pole der Erde gehen; denn es läßt sich leicht nachweisen (an einem Globus), daß jeder Punkt der Peripherie eines dicht um den Pol beschriebenen Kreises eine andere Declination haben muß.

Die Entdeckung der Inclination wird gewöhnlich einem Engländer Robert Normann zugeschrieben, der 1576 ein Inclinatorium construirte. Aber schon 33 Jahre früher

kannte Georg Hartmann, Vicar zu Nürnberg, die Inclination. Ihm verdanken wir auch die Entdeckung des Gesetzes, daß sich gleichnamige Pole abstoßen und ungleichnamige anziehen.

§ 153. Säculare Variationen der Declination und Inclination.

§ 153. Declination wie Inclination ändern sich mit der Zeit; so war zu Paris die Declination:

Im Jahre	1580	11° 30′ östlich.	Im Jahre	1814	22° 34′ westl.
„ „	1618	8° „	„ „	1816	22° 25′ „
„ „	1663	0° „	„ „	1825	22° 22′ „
„ „	1700	8° 10′ westl.	„ „	1828	22° 5′ „
„ „	1780	19° 55′ „	„ „	1832	22° 3′ „
„ „	1805	22° 5′ „	„ „	1835	22° 4′ „

Die Declination für Breslau ist jetzt fast 11° westlich und nimmt jährlich um 7 bis 8 Minuten ab.

Die Inclination war zu Paris:

Im Jahre	1671	75°.	Im Jahre	1820	68° 20′.
„ „	1780	71° 48′.	„ „	1825	68° 0′.
„ „	1806	69° 12′.	„ „	1831	67° 40′.
„ „	1814	68° 36′.	„ „	1835	67° 24′.

Diese Veränderungen heißen *säculare Variationen*, im Gegensatz zu denen, welche im Laufe jedes Tages stattfinden und die man *tägliche Variationen* nennt. In Paris z. B. sind diese Veränderungen der Declination folgender Art: Mit Sonnenaufgang fängt die Nadel an, sich mit dem Nordende nach Westen zu bewegen, und erreicht gegen 5 Uhr Nachmittags den westlichsten Stand; von da geht sie bis 9, 10 oder 11 Uhr des Abends zurück nach Osten und bleibt die Nacht über stationär.

Tägliche Variationen der Declination,

Die Größe dieser Schwingungen ist in den verschiedenen Jahreszeiten verschieden. Ihr Mittelwerth ist vom April bis September 13 bis 15 Minuten, vom October bis März 8 bis 10 Minuten. An manchen Tagen beträgt sie 25 Minuten, an anderen nur 5 bis 6.

In nördlichen Gegenden sind die täglichen Variationen im Allgemeinen größer und weniger regelmäßig, im magnetischen Aequator sind sie ganz unmerklich.

Südlich vom magnetischen Aequator finden die täglichen Variationen in entgegengesetzter Richtung statt. Es bewegt sich nämlich hier das Südende der Nadel nach denselben Himmelsgegenden, nach welchen sich zu derselben Zeit das Nordende auf der nördlichen Halbkugel bewegt.

der Inclination.

Auch die Inclination ist solchen täglichen Variationen unterworfen, wie zuerst Graham 1772 beobachtete. Diese sind aber nicht so bedeutend und auch schwieriger zu beobachten.

Störungen der Magnetnadel.

Außer diesen regelmäßigen Schwankungen erleidet die Magnetnadel auch sogenannte Störungen.

Solche treten ein beim Nordlichte, bei Erdbeben, bei vulkanischen Ausbrüchen, und zwar bringen die beiden letzten Erscheinungen oft bleibende Abänderungen der Declination und Inclination hervor.

§ 154. Intensität des Erdmagnetismus.

§ 154. Aus der Menge der Schwingungen, welche eine Magnetnadel in einer gegebenen Zeit macht, wenn man sie aus dem magnetischen Meridian gelenkt hat, erkennt man, daß auch die Intensität des Erdmagnetismus an verschiedenen Orten der Erdoberfläche verschieden ist, und zwar ist sie am kleinsten in der Gegend des magnetischen Aequators und wächst, je mehr man sich von da nach Norden oder Süden entfernt. In der Nähe der magnetischen Pole ist sie ungefähr 1,5 mal so groß, als am Aequator. Auch die Intensität ist an ein und demselben Orte veränderlich und täglichen Variationen unterworfen. Isodynamische Linien.

B. Electricität.

§ 155. Was ist Electricität?

§ 155. Wird ein Glasstab mit wollenem Zeuge gerieben, so zeigen sich an ihm folgende Erscheinungen:

1) Er zieht leichte Körperchen an und stößt sie dann wieder ab.

2) Er giebt einen eigenthümlichen Geruch von sich.

3) Nähert man den Finger, so springt unter Knistern ein Funken über.

Man schreibt diese Erscheinungen einer durch das Reiben in der Glasstange geweckten Kraft zu, welche man Electricität nennt.

Die Griechen kannten schon diese Erscheinungen am Bernstein.

§ 156. Gute, schlechte Electricitätsleiter.

§ 156. Auf gleiche Weise kann man jeden festen Körper electrisch machen; aber manche, z. B. die Metalle, darf man beim Reiben nicht in der bloßen Hand, sondern muß sie an einem Glasgriffe halten.

Diese letzteren Körper unterscheiden sich auch noch auf andere Weise von den ersten. Berührt man nämlich einen an einem Glasgriffe gehaltenen Metallcylinder mit einem electrischen Körper, so wird er auf der ganzen Oberfläche electrisch, verliert aber auch wieder die ganze Electricität, wenn man ihn in einem Punkte mit dem Finger berührt. Berührt man aber einen Glasstab mit einem electrischen Körper, so wird er nur an der berührten Stelle electrisch, und ein durchgängig electrischer Glasstab verliert bei der Berührung mit dem Finger nur an der berührten Stelle die Electricität.

Daher nennt man die Körper der ersten Art (die sich wie der Metall-Cylinder verhalten) gute, die der letzteren (die sich wie der Glasstab verhalten) schlechte Electricitätsleiter.

Zwischen den guten und schlechten Electricitätsleitern liegen noch andere Körper, welche sich nicht ganz wie Glas, aber auch nicht ganz wie Metall verhalten; sie heißen Halbleiter, z. B. trockenes Holz. Man kann überhaupt alle Körper in eine Reihe so zusammenstellen, daß zu-

erst der beste Electricitätsleiter steht, und dann jeder nachfolgende ein schlechterer Leiter ist, als der vorangehende.

Die besten Electricitätsleiter sind die Metalle und Kohle, außerdem viele Flüssigkeiten, z. B. verdünnte Säuren, in Wasser gelöste Salze und andere. Zu den schlechtesten Leitern gehören Glas, alle Harze, Schwefel, thierische Haare, Seide und die Luft. Der menschliche Körper gehört zu den guten Leitern.

Aus welchen Erscheinungen erkennt man, daß thierische Haare, Seide und die Luft schlechte, Wasser und der menschliche Körper gute Leiter sind?

Einen guten Leiter von allen andern guten Leitern trennen, heißt ihn isoliren.

Den Unterschied zwischen guten und schlechten Leitern fand Gray in England 1729.

§ 157. Wirkung electrischer Körper auf einander.

§ 157. Gesetz der Polarität. Wird eine mit Wolle geriebene Glasröhre in einen breiten, an einem seidenen Faden hängenden Glashaken gelegt, so wird sie von jeder andern mit Wolle geriebenen Glasröhre abgestoßen. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn man statt der beiden Glasröhren zwei Siegellackstangen nimmt. Dagegen wird die geriebene Glasröhre von der geriebenen Siegellackstange und diese von jener angezogen.

Hieraus geht hervor:

1) Es giebt zwei verschiedene Arten Electricität.

2) Gleichnamige Electricitäten stoßen sich ab, ungleichnamige ziehen sich an.

Früher nannte man die beiden Electricitäten Glas- und Harz-Electricität. Da man aber gefunden hat, daß in ein- und demselben Körper durch Anwendung verschiedener Reibzeuge sich sowohl die Glas- als die Harz-Electricität erregen läßt, so hat man diese Namen aufgegeben und nennt nun die in Glas durch Wolle erregte Electricität die positive, und die in Harz durch Wolle erregte die negative Electricität (+ E und — E). Man hat auch gefunden, daß, so oft zwei Körper, selbst gleichartige, mit einander gerieben werden, der eine stets positiv, der andere negativ electrisch wird.

Während Siegellack, mit Wolle gerieben, negativ electrisch wird, erhält er durch Reiben mit Messing, Stanniol oder Gold positive Electricität. Steckt man z. B. einen goldenen Ring auf eine runde Siegellackstange und schiebt ihn einigemale hin und her, so wird eine an einem seidenen Faden hängende Hollundermarkkugel, welche man an einer mit Wolle geriebenen Glasstange electrisch gemacht hat, von der Siegellackstange abgestoßen. Auch wird manche Siegellacksorte durch Reiben mit Baumwolle positiv electrisch. Glas wird, mit Wolle gerieben, positiv, mit Katzenfell gerieben, negativ electrisch.

Spannung; electrische Atmosphäre.

Erklärung. Die Kraft, mit welcher ein electrischer Körper andere gleichnamige electrische Körper abstößt und ungleichnamige anzieht, nennt man die Spannung*) seiner Electricität, und den Raum, inner-

*) Das Wort Spannung hat hier eine ähnliche Bedeutung wie bei den Dämpfen, wo es die Kraft bezeichnet, mit welcher sich die einzelnen Dampftheilchen abstoßen.

halb dessen die Anziehung und Abstoßung bemerkbar ist, die electrische Atmosphäre des Körpers.

Die Spannung kann gemessen werden durch zwei an leinenen Fäden hängende Korkkugeln (Electrometer).

Wie untersucht man, ob ein Körper positiv oder negativ electrisch ist?

Die entgegengesetzten Electricitäten fand der Franzose du Fay 1735.

§ 158. **Die Electrisirmaschine** besteht im Wesentlichen aus folgenden Stücken: § 158. Die Electrisirmaschine.

1) Einer Glasscheibe oder einem Glascylinder. Am besten eignet sich hierzu das harte Glas (ohne Metalloxyd).

2) Dem Reibzeuge, zwei Lederkissen, die mit Amalgam bestrichen sind (1 Th. Zinn, 1 Th. Zink, 2 Th. Quecksilber).

3) Dem Conductor der Scheibe und dem des Reibzeuges (isolirte Metallkugeln oder Cylinder).

4) Den Zuleitern, Metallstäbe, die mit dem Conductor in leitender Verbindung stehen und an der Scheibe mit Spitzen versehen sind.

Die erste Electrisirmaschine wurde 1744 in Deutschland gebaut.

§ 159. Die Verschiedenheit der beiden Electricitäten läßt sich durch folgenden Versuch sichtbar machen: § 159. Die Lichtenberg'schen Figuren.

Läßt man auf zwei verschiedene Stellen eines recht glatten Harzkuchens einen positiven und einen negativen Funken schlagen und bepudert diese Stellen mit semen lycopodii, so entsteht an der Stelle,

Fig. 195.

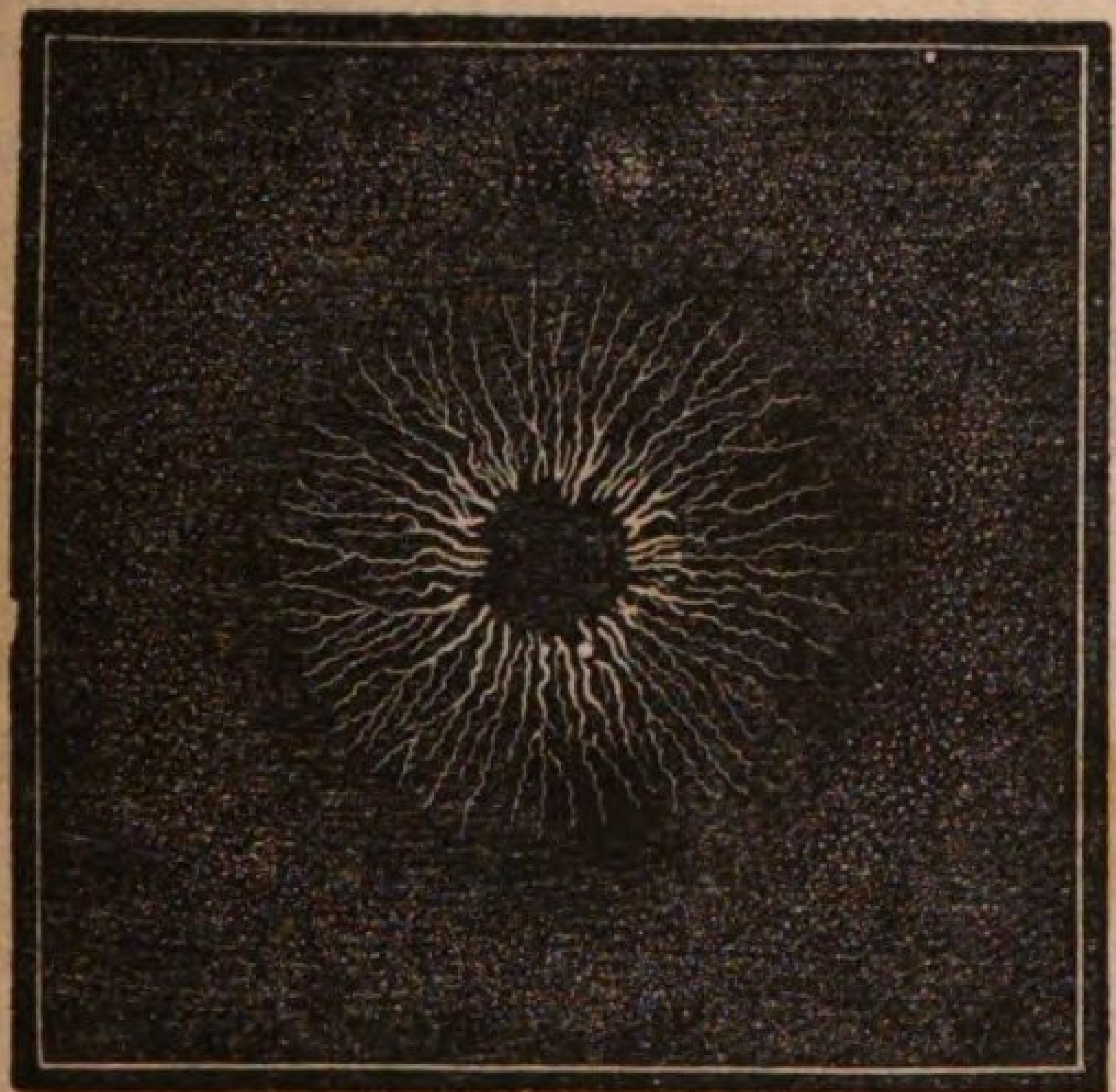


Fig. 196.

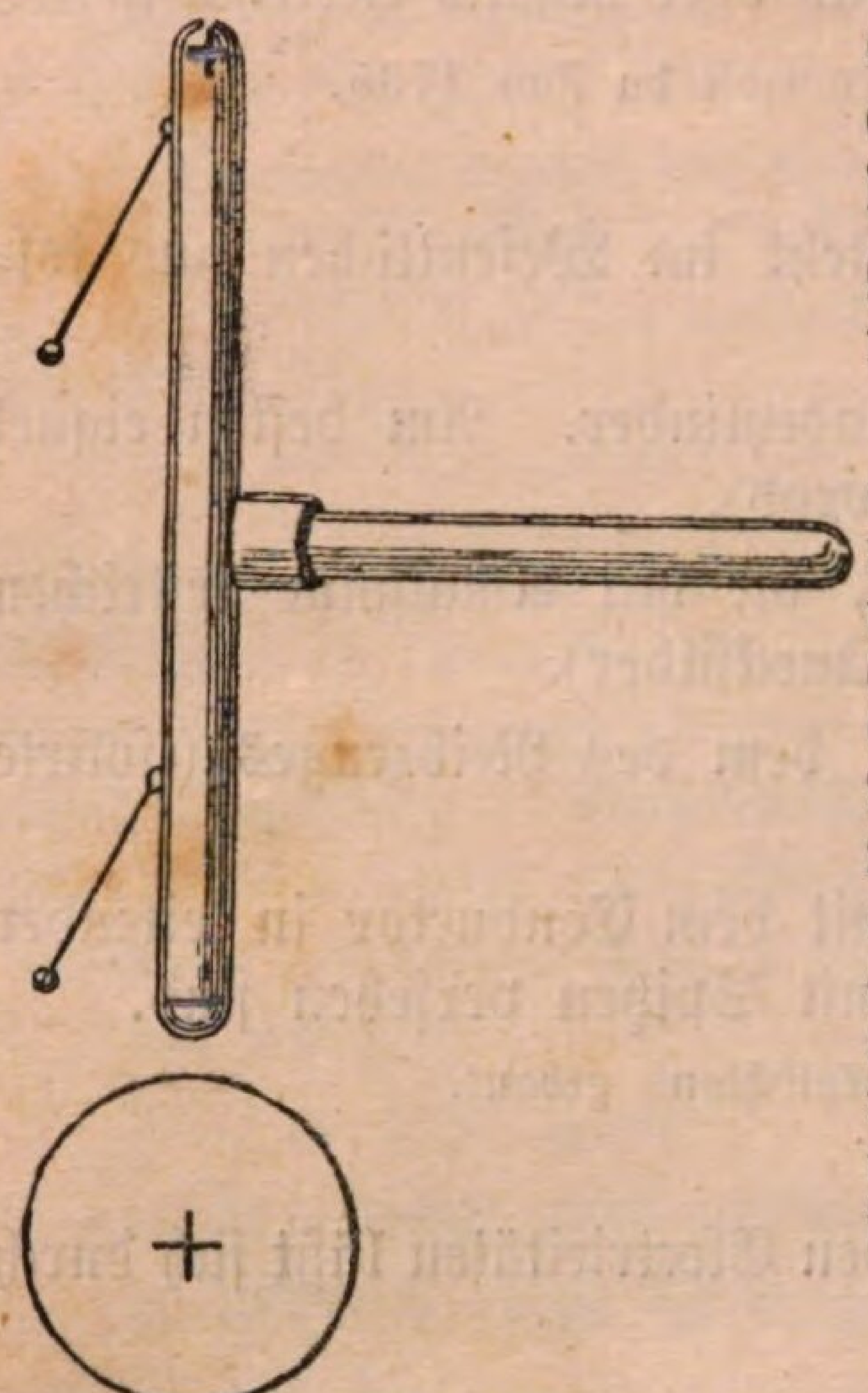


wo der positive Funken aufgeschlagen hat, eine strahlige, da, wo der negative den Kuchen getroffen hat, eine rundliche Figur. Sie heißen von ihrem Entdecker Lichtenberg'sche Figuren. Fig. 195 vom positiven, Fig. 196 vom negativen Funken.

Am schönsten werden die Figuren, wenn man auf den Harzkuchen einen Ring und auf diesen eine Metallkugel legt, dann den Funken auf die Kugel aufschlagen läßt und Ring und Kugel so herabwirft, daß sie den Harzkuchen an keiner anderen Stelle berühren.

§ 160. Wirkung electrischer Körper auf unelectr.

Fig. 197.



§ 160. Wird ein isolirter Metallcylinder mit dem einen Ende in die electrische Atmosphäre des einen Conductors gebracht, so erhält dieses die entgegengesetzte, das abgewandte die gleichnamige Electricität.

Vertheilung der Electricität.

Denn hält man den Cylinder in verticaler Richtung über den positiven Conductor und hat man an den beiden Enden Hollundermarkkügelchen an leinenen Fäden aufgehängt (siehe Fig. 197), so entfernen sich beide vom Cylinder und die untere wird von einer mit Wolle geriebenen Siegellackstange, die obere von einer mit Wolle geriebenen Glasstange abgestoßen. Oder: Berührt man das zugewandte Ende des Cylinders mit einem an einem seidenen Faden hängenden Hollundermarkkügelchen, so wird dieses negativ, berührt man ihn am abgewandten Ende, positiv electrisch.

1) Ein electrischer Körper macht also andere Körper in seiner Atmosphäre so electrisch, daß sie in den ihm zugewandten Theilen entgegengesetzte, in den von ihm abgewandten Theilen die gleichnamige Electricität zeigen.

Hieraus und aus § 156 Nr. 2 läßt sich erklären, warum leichte Körper von einem electrischen angezogen werden.

Ausgleichung der Electricität.

Entfernt man den Cylinder wieder aus der electrischen Atmosphäre, so verschwindet seine Electricität; hatte man ihn aber dem Conductor so weit genähert, daß ein Funke übersprang, so zeigen bei der Entfernung aus der electrischen Atmosphäre beide Hollunderkugeln die Electricität des Conductors.

Aus beiden Erscheinungen geht hervor:

2) Entgegengesetzte Electricitäten gleichen sich aus (heben sich auf).

Im ersten Falle gleichen sich nämlich die beiden entgegengesetzten Electricitäten des Cylinders, im zweiten ein Theil der Electricität des Conductors mit der entgegengesetzten des Cylinders aus und die gleichnamige des Cylinders bleibt auf demselben.

Das Gesetz wird dadurch bestätigt, daß weder der Conductor noch das Reibzeug der Electrisirmaschine electrisch werden, wenn man beide, während die Scheibe gedreht wird, durch einen guten Leiter in Verbindung setzt.

Erklärung. Die Entfernung, bis zu welcher ein Funken überspringt, heißt Schlagweite.

Die Schlagweite ist desto größer, je größer die Spannung ist; oder, was dasselbe ist: das Bestreben der Electricität, sich auszugleichen, ist desto größer, je größer die Spannung ist.

Erkläre, auf welche Weise der Conductor durch die Scheibe der Electrisirmaschine electrisch wird; ferner, welcher Vorgang stattfindet, wenn man einen Körper mit einem electrischen Körper berührt, oder wenn man den Finger dem Conductor so weit nähert, daß ein Funken überspringt.

Ausgleichung der Spannung.

3) Durch das Ueberspringen des Funkens zwischen dem Conductor und einem genäherten isolirten guten Leiter verliert der Conductor an electrischer Spannung, und zwar desto mehr, je größer der genäherte Leiter ist. Dieser gewinnt so viel, daß er mit dem Conductor gleiche Spannung hat.

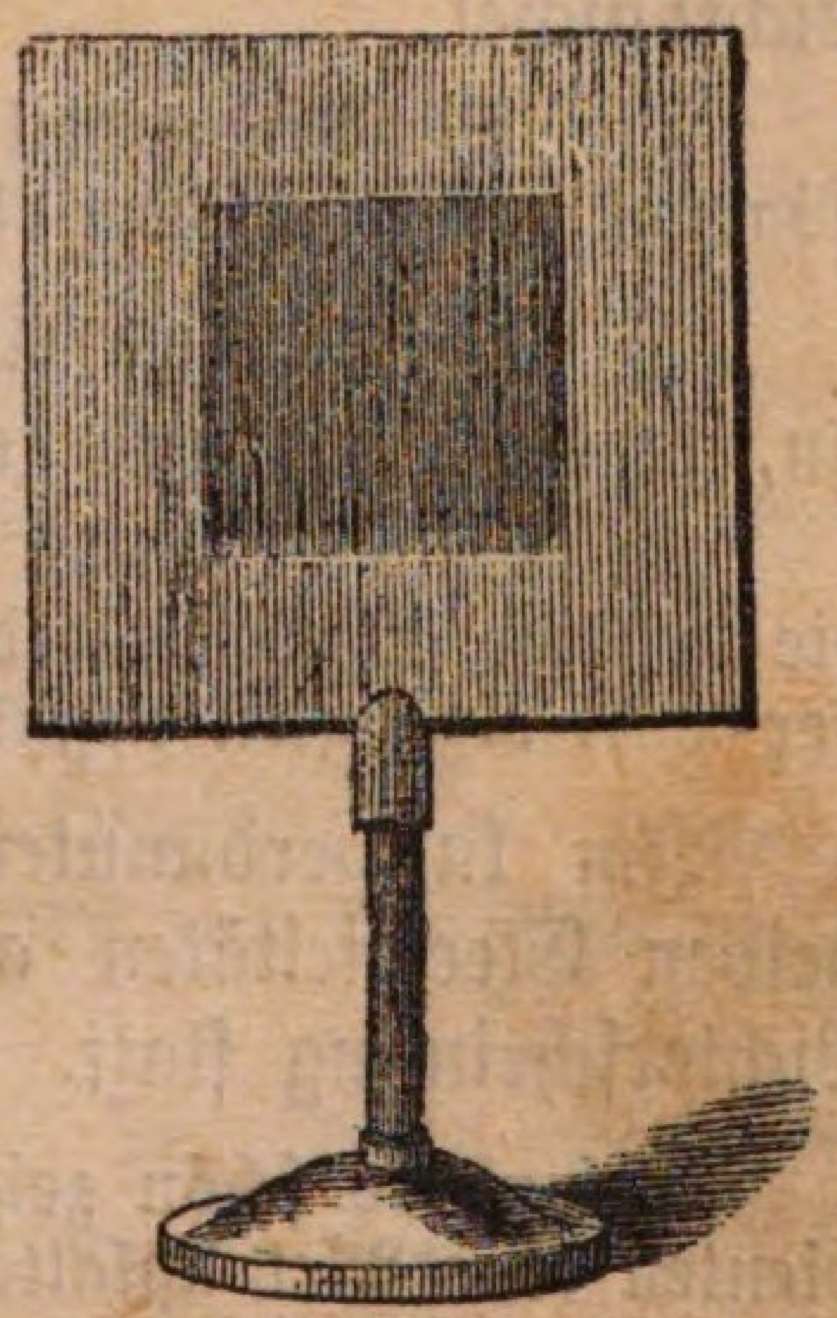
Hält man den isolirten guten Leiter längere Zeit in die Schlagweite des Conductors, so springen mehrere Funken über, und zwar so lange, bis der Leiter die größtmögliche Spannung des Conductors hat.

Entgegengesetzte Electricitäten binden einander.

Versuch A. Hält man den Cylinder mit den beiden Hollundermarkkugeln wie bei Nr. 1 so über den positiven Conductor, daß das untere Ende in dessen electrischer Atmosphäre ist, und berührt ihn dann mit dem Finger, so fällt die obere, positive Kugel nieder, die untere nicht. Entfernt man darauf den Cylinder, so zeigt er negative Electricität. Die positive Electricität wurde also abgeleitet, die negative nicht; diese wurde von der positiven des Conductors festgehalten, gebunden.

Versuch B. Bringt man die Franklin'sche Tafel (Fig. 198), d. i. eine Glasscheibe, die auf beiden Seiten in ihrer Mitte mit Stanniol belegt ist, mit der einen Stanniolbelegung in die Schlagweite des positiven Conductors, so springt ein Funken über, wodurch diese Belegung nach Nr. 2 positiv electrisch wird. Dadurch wird nach Nr. 1 die dem Conductor abgewandte Stanniolplatte auf der dem Glase anliegenden Seite negativ, auf der anderen positiv electrisch; es wird daher eine genäherte positiv electrische Hollundermarkkugel abgestoßen. Leitet man diese positive Electricität ab, so ist die Stanniolplatte scheinbar unelectrisch; denn eine genäherte Hollundermarkkugel wird nicht angezogen. Leitet man nun aber die positive Electricität der andern Stanniolplatte ab, so zeigt sie negative Electricität. Diese negative Electricität wurde also von der positiven des anderen Belages nicht blos festgehalten, sondern sie zeigte auch gar keine Wirkung. Man sagt daher: sie wurde vollständig gebunden. Bei dem Versuch A. wurde die Electricität nur zum Theil gebunden; sie konnte zwar nicht abgeleitet werden, aber ihre Wirkung wurde nicht aufgehoben, sondern nur vermindert.

Fig. 198.



Aus den Versuchen A. und B. geht hervor:

4) Entgegengesetzte Electricitäten, welche nahe aneinander liegen, aber sich nicht ausgleichen können, binden einander.

Im Versuche A. wurde die Ausgleichung durch die zu dicke Luftschicht, im Versuche B. durch die Glasscheibe verhindert.

Hiernach läßt sich nun erklären, warum man beim Laden des Conductors das Reibzeug in leitende Verbindung mit der Erde setzen muß. Wenn man den isolirten Metallcylinder mit den beiden Hollundermarkkugeln wie bei A. eine Zeit lang in die electrische Atmosphäre des positiven Conductors hält, ohne ihn mit dem Finger zu berühren, und man entfernt ihn dann langsam, so fallen in einer gewissen Entfernung vom Conductor beide Kugeln nieder, entfernt man ihn aber noch weiter, so werden sie, wenn die Luft nicht ganz trocken ist, abgestoßen, und zeigen negative Electricität. Erkläre dies.

§ 161. Abhängigkeit der Spannung von der Gestalt des Körpers,

§ 161. 1) Ist der Conductor eine Kugel, so ist seine Spannung an allen Stellen der Oberfläche gleich groß; hat er aber eine andere Form, so haben die Theile eine stärkere Spannung, welche eine größere Krümmung haben; am stärksten ist die Spannung an Spitzen und Kanten. Da aber mit der Größe der Spannung das Bestreben wächst, sich mit der in der Luft erzeugten negativen Electricität auszugleichen, so müssen Kanten und Spitzen am Conductor vermieden werden.

Hieraus läßt sich erklären, warum die Zuleiter an der Scheibe in Spitzen endigen.

Im Dunkeln findet die Ausgleichung aus Kanten und Spitzen unter Erscheinung eines Lichtbüschels statt, besonders wenn man einen guten Leiter, etwa die Hand, gegen dieselben hält.

Vorzüglich schön zeigen sich die Lichtbüschel, wenn man eine Metallplatte mit nicht zu scharfen Ecken auf den Conductor legt und dieser die Hand nähert.

Eine Spitze am Conductor des Reibzeuges zeigt nicht einen Lichtbüschel, sondern einen Lichtpunkt, dagegen die genäherte Hand einen Lichtbüschel.

Die Verschiedenheit der beiden Electricitäten wird hier also sichtbar. Warum dreht sich das electrische Rad?

von der Beschaffenheit der Luft und des Luftdruckes.

2) Scheibe und Conductor nehmen eine desto größere Spannung an, je trockener und je dichter die Luft ist.

Je feuchter nämlich und je dünner die Luft ist, desto leichter gleicht sich die positive Electricität der Scheibe und des Conductors mit der durch sie in der Luft erzeugten negativen aus.

Im luftverdünnten Raume findet die Ausgleichung zwischen den beiden Electricitäten auf große Entfernung und unter einer herrlichen Lichterscheinung statt.

Besonders schön zeigt sich die Erscheinung, wenn man oben in dem Recipienten eine Metallplatte anbringt, der man die positive Electricität zuleitet. Eine herrliche Lichterscheinung erhält man, wenn man ein Uranglas (d. i. ein durch Uran grün gefärbtes Glas) unter den Recipienten stellt, den durch die Stopfbüchse gehenden Metallstab bis auf den Boden desselben schiebt und auf ihn den Funkenstrom des positiven Conductors übergehen läßt, während man den Teller der Luftpumpe mit dem Reibzeuge verbindet. Das electrische Licht enthält nämlich eine Menge dunkler Strahlen, welche durch das Uranglas sichtbar werden (§ 105).

3) Je größer die Spannung des Conductors und je größer seine Oberfläche ist, einen desto größeren Funken giebt er. Die Größe der Masse des Conductors ist auf die Größe des Funkens wie der Spannung ohne Einfluß. *Abhängigkeit des Funkens von der Spannung und der Oberfläche.*

Es ist gleichgültig, ob der Conductor massiv oder hohl ist, oder wohl gar nur aus Pappe besteht, welche mit Stanniol überzogen ist.

Erklärung. Je größer der Funken ist, den ein elektrischer Körper giebt, eine desto größere Quantität der Electricität schreibt man ihm zu.

4) Aus Nr. 1, 2 und 3 schließt man, daß die Electricität eines Körpers nur auf dessen Oberfläche ihren Sitz hat.

§ 162. Die electrischen Erscheinungen schreibt man einem feinen, unwägbaren Fluidum zu, wonach dann die electrischen Gesetze folgendermaßen lauten: *§ 162. Erklärung der electrischen Erscheinungen.*

Es giebt zwei electrische Fluida, von denen das eine das positive, das andere das negative genannt wird. In jedem Körper sind beide electrische Fluida vorhanden; sie äußern aber in dem gewöhnlichen Zustande der Körper keine Wirkung, weil in ihnen von jedem Fluidum eine gleiche Menge enthalten ist und gleiche Mengen entgegengesetzter Electricitäten sich aufheben.

Wird ein Körper mit einem andern gerieben, so vertheilen sich die electrischen Fluida auf beiden Körpern so, daß der eine einen Ueberschuß von positivem, der andere einen Ueberschuß von negativem Fluidum erhält. Dieser Ueberschuß äußert nun auf beiden Körpern seine Wirkung, und wir nennen die Körper electrisch.

Dieser Ueberschuß befindet sich nur auf der Oberfläche und verbreitet sich je nach der Art der Materie, aus der die äußerste Schicht des Körpers besteht, entweder über die ganze Oberfläche oder nur über den geriebenen Theil derselben und ein wenig über dessen nächste Umgebung. Wir theilen hiernach die Körper in gute und schlechte Electricitätsleiter.

Ungleichnamige electrische Fluida ziehen einander an, gleichnamige Fluida, und also auch die einzelnen Theilchen ein und desselben electrischen Fluidums, stoßen sich ab; die electrischen Fluida sind also expansiv, wie die Gase.

Die Expansion des electrischen Fluidums, d. i. die Kraft, mit der sich die einzelnen Theilchen des electrischen Fluidums abstoßen, nennt man electrische Spannung.

Je mehr electrisches Fluidum auf der Oberfläche ein und desselben Körpers angehäuft wird, desto dichter wird es, und desto größer wird, wie bei andern expansiven Körpern, seine Spannung.

Je größer demnach die Oberfläche eines Körpers ist, eine desto größere Quantität des electrischen Fluidums läßt sich bei demselben

Luftdrucke auf denselben anhäufen. Freilich ist hierbei die Feuchtigkeit der Luft von Einfluß; je feuchter die Luft ist, desto schneller wird die auf einem Körper aufzuhäufende Electricität abgeleitet.

Bemerkung. Die Electricität eines Körpers ableiten heißt nichts Anderes als sie ausgleichen; denn wird ein electrischer Körper durch einen guten Leiter mit der Erde verbunden, so erregt er in dieser die entgegengesetzte Electricität, durch welche dann die seinige ausgeglichen wird.

Wird ein unelectrischer Körper einem electrischen genähert, so stößt dieser das in dem genäherten Körper enthaltene gleichnamige Fluidum ab, zieht das entgegengesetzte an und bindet dieses. Bei noch größerer Annäherung verbinden sich (gleichen sich aus) unter Erscheinung eines Funkens gleiche Quantitäten der sich gebunden haltenden Electricitäten und zwar so viel, daß nach der Ausgleichung auf beiden Körpern ein Ueberschuß des ursprünglichen Fluidums von gleicher Dichtigkeit (also gleicher Spannung) sich befindet.

An Kanten und Spitzen eines electrischen Körpers häuft sich das electrische Fluidum an und erhält hier größere Dichtigkeit, also größere Spannung, und überwindet daher den Luftdruck, entfernt sich also vom Körper.

§ 163. Der electrische Geruch.

§ 163. Der electrische Geruch. Bei der oben angeführten durch feuchtes Wetter oder durch Aufsetzung einer Spitze auf den Conductor veranlaßten Ausgleichung der Maschinen-Electricität mit der durch Vertheilung in der Luft erzeugten bemerkt man den electrischen Geruch in hohem Grade. Derselbe rührt von einem Gase, dem Ozon, her, welches ähnliche Wirkungen wie Chlor hervorbringt. Es scheint eine Modification des Sauerstoffes zu sein und wird durch die Einwirkung der electrischen Ausgleichung auf die atmosphärische Luft und den darin enthaltenen Wasserdampf erzeugt. Wir werden später sehen, daß die Ausgleichung entgegengesetzter Electricitäten, sowohl chemische Verbindungen erzeugt als auch aufhebt (zersetzt).

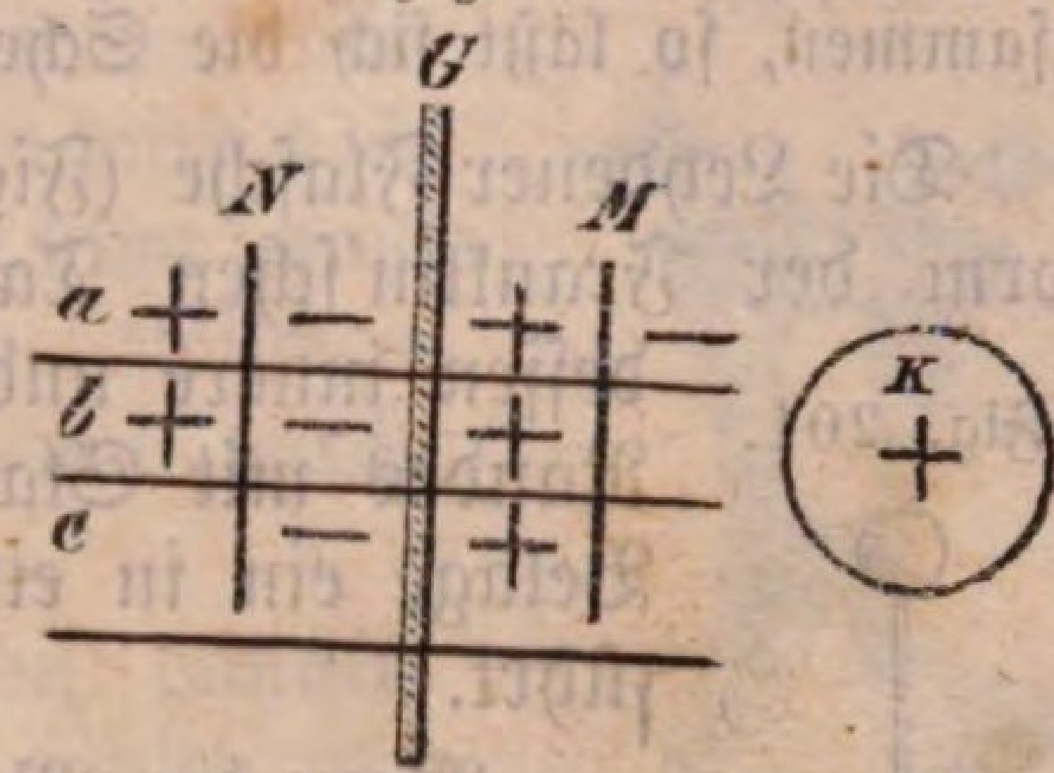
Anmerkung. Das Ozon kann man auch erzeugen, wenn man in ein Fläschchen ein Stück Phosphor bringt und so viel Wasser zugießt, daß derselbe zur Hälfte eingetaucht ist. Die in der Flasche befindliche Luft riecht nach kurzer Zeit nach Ozon und wirkt auch, wie dieses.

§ 164. Ladung der Franklin'schen Tafel.

§ 164. Da auf einen dem Conductor der Electrisirmaschine genäherten isolirten guten Leiter nur so lange Funken überschlagen, bis seine Spannung gleich der größtmöglichen Spannung des Conductors ist, so muß der Leiter, soll er eine große Quantität Electricität aufnehmen, eine große Oberfläche haben. Man kann aber auch auf einer kleinen Fläche eine verhältnißmäßig große Quantität Electricität sammeln, wenn die erzeugte Electricität gebunden wird. Dies läßt sich erreichen durch die in § 160 erwähnte Franklin'sche Tafel (Fig. 198) und die Leydener Flasche; durch die erstere, indem man auf die eine

Stanniolbelegung Funken überschlagen läßt, während man die andere Belegung mit der Erde in leitende Verbindung setzt. Der Vorgang dabei ist folgender: Es stelle in Fig. 199 K den Conductor der Electrisirmaschine, M und N die beiden Stanniolplatten und G die Glasscheibe der Franklin'schen Tafel vor.

Fig. 199.



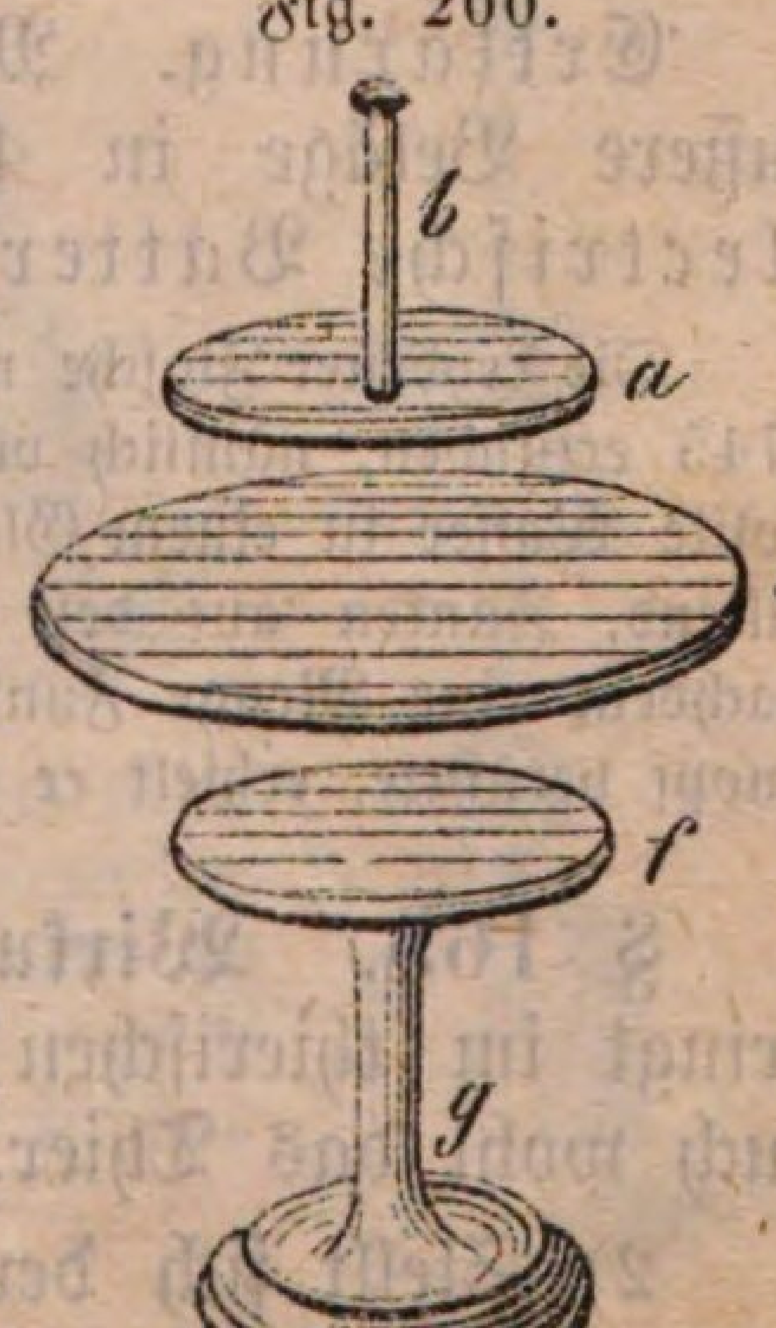
a. Hält man die Tafel mit der Platte M in die electrische Atmosphäre, so zeigt die Platte M ± E. Die Electricität vertheilt sich nämlich nach § 160 Nr. 1 auf den beiden Stanniolplatten so, wie in der Figur die Zeichen bei a angeben.

b. Nähert man die Tafel bis zur Schlagweite, so springt ein Funken über, und nun zeigt Platte M positive Electricität und die + E der Tafel N wird stärker. Die — E der Tafel M ist nämlich durch die + E des Conductors ausgeglichen und die + E von M bindet sich theilweise mit der — E von N; die Platten sind also so electrisch, wie die Zeichen bei b in obiger Figur angeben.

c. Leitet man nun die + E der Platte N ab, so hat man auf M positive, auf N negative Electricität; die Platte N zeigt gar keine Electricität, die Platte M nur schwache positive. Die — E von N wird also vollständig, die + E von M großentheils gebunden; siehe die Zeichen bei c in der Figur.

Läßt man wieder einen Funken überspringen, so wiederholt sich der Vorgang und die freie + E der Platte M wird stärker. Aber es springen nur so lange Funken über, bis die freie + E der Platte M gleich der größtmöglichen electrischen Spannung des Conductors ist. Nun ist die Tafel „geladen". Man entladet sie, wenn man beide Stanniolplatten in leitende Verbindung setzt, wobei sich ein im Verhältniß zur Größe der Fläche sehr großer Funken zeigt.

Fig. 200.



Leitet man beim Laden die + E der Platte N nicht ab, so springen nur sehr wenige kleine Funken vom Conductor über. Warum?

Sehr unterrichtend ist eine Franklin'sche Tafel, deren Stanniolbeläge sich abnehmen lassen. In Fig. 200 ist a ein Pappdeckel, mit Stanniol belegt, und einer gläsernen Handhabe, b, versehen, c eine Glasscheibe, f eine mit Stanniol überzogene Holzscheibe auf einem gläsernen Fuße g.

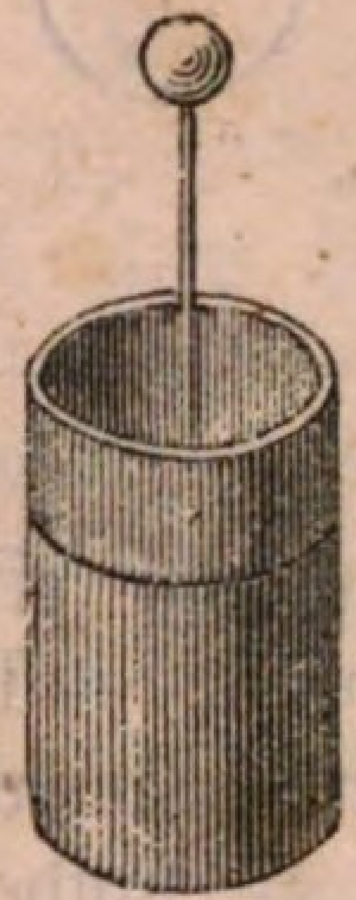
Ist diese Tafel so geladen, daß man die Funken vom positiven Conductor auf den Deckel a hat schlagen lassen, und man nimmt a ab, was hat dann a für Electricität? Nimmt man dann auch die Scheibe c ab, was zeigt diese für Electricität auf der einen und auf der andern Seite? Was f für

welche? Setzt man nun einen Punkt der einen Seite von c mit einem Punkte der andern Seite in leitende Verbindung, was geschieht dann? Der Versuch läßt sich mit anderen Punkten wiederholen. Entladet man die Glasscheibe aber nicht, sondern legt die drei Theile wieder in der ursprünglichen Ordnung zusammen, so läßt sich die Scheibe auf gewöhnliche Weise entladen.

Die Leydener Flasche.

Die Leydener Flasche (Fig. 201) ist nichts anderes, als eine andere Form der Franklin'schen Tafel. Sie besteht aus einem Glasgefäße, dessen innere und äußere Seite mit Ausnahme des oberen Randes mit Stanniol belegt ist, und von dessen innerem Belage ein in eine Kugel endigender Metallstab nach außen führt.

Fig. 201.



Wozu der Metallstab?

Residuum.

Wenn die Leydener Flasche oder die Franklin'sche Tafel entladen ist, so erhält man nach einiger Zeit bei Verbindung des innern und äußern Belages noch einen kleinen Funken (Residuum), entstanden durch die Electricität, welche sich auf dem von Belage freien Rande und andern Stellen des Glases befindet, an welchen der Belag nicht fest anliegt.

Bisweilen entladet sich die Flasche selbst. Wie geht das zu? — Eine isolirte Flasche kann man dadurch allmählich entladen, daß man abwechselnd den Knopf und den äußern Belag berührt. — Erkläre dies.

Was findet statt, wenn man die Leydener Flasche am negativen Conductor ladet? Man kann die Leydener Flasche auch am positiven Conductor so laden, daß die innere Belegung negativ, die äußere positiv electrisch wird. Auf welche Art? — Hat man zwei innen mit + E geladene Flaschen, und man setzt die äußere Belegung der einen mit der inneren der andern Flasche in leitende Verbindung, so erfolgt keine Entladung; sie erfolgt aber, wenn man zu gleicher Zeit auch die beiden anderen Belegungen verbindet. Mit der abzuleitenden positiven Electricität des äußeren Belages läßt sich eine zweite Flasche laden.

Batterie.

Erklärung. Mehrere Leydener Flaschen, deren innere und deren äußere Beläge in leitender Verbindung stehen, nennt man eine **electrische Batterie.**

Die Leydener Flasche wurde von zwei Naturforschern fast zu gleicher Zeit, im Jahre 1745 erfunden, nämlich von Kleist in Kamin und Muschenbrök in Leyden. Der erstere wollte Wasser in einem Glase electrisch machen, indem er, das Glas mit der einen Hand haltend, Funken auf den Knopf eines in das Glas gestreckten Drahtes schlagen ließ. Nachdem eine Menge Funken übergegangen waren, und er mit der andern Hand den Knopf berührte, erhielt er einen heftigen Schlag.

§ 165. Wirkungen der electrischen Ausgleichung.

§ 165. Wirkungen der electrischen Ausgleichung. 1) Sie bringt im thierischen Körper eine Nervenerschütterung hervor, tödtet auch wohl das Thier.

2) Stellt sich der Ausgleichung ein schlechter Leiter entgegen, so wird dieser durchbohrt. (Bei Pappe hat das Loch auf beiden Seiten einen aufgeworfenen Rand.)

3) Findet die Ausgleichung durch Spiritus, Aether, Pulver, Schießbaumwolle und dergleichen Körper statt, so werden diese entzündet;

ebenso ein Gemenge von Wasser- und Sauerstoff — electrische Pistole. (Bei Pulver und Schießbaumwolle muß ein nasser Faden in die Leitung eingeschaltet werden.)

4) Vermittelt man die Ausgleichung einer starken Batterie durch zwei Metallspitzen, welche in ein mit Wasser gefülltes Weinglas getaucht sind, so wird das Glas zersprengt (siehe Fig. 202). Ebenso kann man zwei Glasplatten zersprengen, wenn man zwischen sie einen schmalen Streifen Blattgold legt und durch diesen den electrischen Schlag führt.

Fig. 202.



5) Geht die Ausgleichung durch einen dünnen Draht vor sich, so wird derselbe glühend, wird geschmolzen oder oxydirt nur.

6) Ein Schlag, durch einen Apfel, ein Stück Zucker, Kreide, eine elfenbeinerne Kugel geführt, macht diese Körper im Dunkeln auf einen Augenblick leuchten.

7) Ein Schlag, spiralförmig um einen Eisenstab geführt, macht diesen magnetisch, und zwar so, daß man den Nordpol zur Linken hat, wenn man sich selbst in die Spirale, mit dem Gesichte nach dem Stabe zu, so gelegt denkt, daß der positive Funken in der Richtung von den Füßen nach dem Kopfe geht.

8) Die electrische Ausgleichung bringt chemische Wirkungen hervor, sie vereinigt z. B. Stickstoff und Sauerstoff zu Salpetersäure, Wasserstoff und Sauerstoff zu Wasser; sie scheidet das Jod aus Jodkalium aus.

§ 166. **Das Goldblatt-Electroscop.** Das Goldblatt-Electroscop dient dazu, das Vorhandensein geringer Spuren von Electricität anzuzeigen (Fig. 203). Es besteht aus einem Metallstabe, welcher am untern Ende zwei Streifen Blattgold, oben einen Metallknopf trägt und isolirt in dem Deckel eines Glasgefäßes befestigt ist. § 166. Das Goldblatt-Electroscop.

Fig. 203.



Fig. 204.



Wie untersucht man mit diesem Instrumente, ob ein Körper electrisch ist? — Um auch die Art der Electricität des zu untersuchenden Körpers zu erfahren, bringt man einen positiv electrischen Glasstab in die Nähe des Knopfes, während man diesen mit dem Finger berührt. Nimmt man dann den Finger, darauf den Glasstab weg, so divergiren die Goldblättchen. Berührt man dann den Knopf mit dem zu untersuchenden Körper, so divergiren die Goldblättchen noch mehr, oder sie gehen zusammen. Im ersteren Falle ist der Körper negativ, im zweiten positiv electrisch.

Um noch geringere Spuren von Electricität zu entdecken, bedient man sich des **Condensators**. Derselbe besteht aus zwei Metallplatten, von denen die eine, auf der oberen Fläche mit Firniß überzogen, Der Condensator.

anstatt des Knopfes auf das Electroscop geschraubt wird, die andere mit einer isolirenden Handhabe versehen ist (Fig. 204).

Um zu erfahren, ob ein Körper electrisch ist oder nicht, berührt man die obere Condensator-Platte mit dem zu untersuchenden Körper, die untere Seite der auf dem Electrometer befindlichen Platte mit dem Finger, nimmt dann Finger und Körper weg und hebt die obere Platte ab. — Erklärung.

Der Condensator wurde 1782 von Volta erfunden.

§ 167. Der Electrophor.

§ 167. Der Electrophor. Das Gesetz der Vertheilung und der Ausgleichung kommt mehrfach zur Erscheinung am Electrophor; das ist ein Harzkuchen, welcher in einer flachen Metallschüssel liegt, und auf welchen eine mit einem isolirenden Griffe versehene Metallscheibe gelegt wird. Noch bequemer ist ein Electrophor, welcher aus einer Guttaperchascheibe und zwei etwas kleineren Metallscheiben besteht, von denen die eine mit seidenen Schnüren versehen ist, um sie isolirt abheben zu können. Diese dient als Deckel, die andere vertritt die Stelle der Schüssel.

Versuche mit demselben.

Die hauptsächlichsten Versuche mit dem Electrophor sind folgende:

1) Isolirt man den Electrophor und peitscht den Kuchen, so ist letzterer negativ electrisch und auch die Schüssel zeigt negative Electricität.

2) Setzt man den Deckel auf, so zeigt derselbe ebenfalls negative Electricität und die Electricität der Schüssel wird schwächer. Hebt man ihn dann ab, so ist er unelectrisch und in der Schüssel ist die Electricität wieder stärker.

3) Setzt man den Deckel auf und berührt ihn mit dem Finger, so erhält man einen Funken und nun zeigt die Schüssel (bei feuchter Luft) positive Electricität. Hebt man dann den Deckel ab, so ist derselbe positiv electrisch und die Schüssel negativ.

4) a. Setzt man den Deckel auf, berührt ihn mit dem Zeigefinger (wodurch man einen Funken erhält), und mit dem Daumen die Schüssel, so erhält man einen Schlag durch beide Finger.

b. Dasselbe geschieht, wenn man erst die Schüssel und dann den Deckel berührt.

c. Hebt man nach diesen Versuchen den Deckel ab, so erhält man von ihm einen positiven verstärkten Funken.

Ist der Electrophor nicht isolirt, so erhält man ganz dieselben Erscheinungen, nur zeigt die Schüssel überall keine Electricität, und der Versuch Nr. 4a. gelingt nicht.

Alle diese Erscheinungen sind zu erklären. — Das Stärker- und Schwächerwerden, so wie das Hervortreten der Electricität zeigt sich, wenn man sowohl an den Deckel, wie an die Schüssel ein in einen Knopf endigendes Metallstäbchen anbringt, welches an leinenen Fäden zwei Korkkugeln trägt.

Der Electrophor ist von Volta 1775 erfunden.

§ 168. Electrische Erscheinungen in der Atmosphäre.

§ 168. Das Gewitter.

a. Das Gewitter.

Die Luft ist stets mehr oder weniger electrisch.

Denn befestigt man an einen Stab einen isolirten Draht und an dessen Spitze ein Stück glühenden Schwamm, so zeigt, wenn man den Stab zum Fenster hinaushält, das untere Ende des Drahtes Electricität. Noch besser gelingt der Versuch mit einem Papierdrachen.

Wodurch die Luft-Electricität entsteht, ist bis jetzt noch nicht bekannt.

Die Wolken können nun von der Luft Electricität aufnehmen, wie der Conductor der Electrisirmaschine von der Scheibe. Viel Wahrscheinlichkeit hat aber die Ansicht für sich, daß durch plötzliche Verdichtung des atmosphärischen Wasserdampfes zu Wolken Electricität entsteht, welche dann die entstandenen Wolken zu Gewitterwolken macht.

Kommt in die electrische Atmosphäre einer positiv electrischen Wolke eine andere, noch unelectrische, oder durch Entladung unelectrisch gewordene, oder eine schwächer positiv electrische Wolke, so wird in ihr negative Electricität erzeugt, die beiden Wolken ziehen sich an, und die electrische Ausgleichung erfolgt unter Blitz und Donner.

Daher ziehen beim Gewitter nicht alle Wolken in derselben, sondern in ganz verschiedener Richtung.

Zieht eine electrische Wolke so tief, daß Gegenstände der Erdoberfläche in ihre electrische Schlagweite kommen, so schlägt der Blitz ein, zerschmettert und entzündet die dazwischen liegenden schlechten Leiter.

Daher führt der Blitzableiter den Blitz unschädlich zur Erde. Darum schlägt der Blitz immer in die höchsten Gegenstände.

Oft empfinden Menschen, welche sich in der Nähe eines einschlagenden Blitzes befinden, einen electrischen Schlag, ohne vom Blitze selbst getroffen zu sein. Diese Erscheinung nennt man Rückschlag; sie entsteht durch die Electricität, welche in dem menschlichen Körper wegen der Nähe der electrischen Wolke durch Vertheilung hervorgerufen ist.

Der Blitz ist geschlängelt, weil die Luft an verschiedenen Stellen verschiedene Leitungsfähigkeit hat.

Läßt man einen Funken vom Conductor an dem isolirenden Glasfuße herunterschlagen, so geht derselbe auch in geschlängelter Richtung, macht man aber einen geraden Strich mit Wasser an denselben, so geht er in gerader Richtung.

Daß der Donner nicht als ein einziger Knall wahrgenommen wird, wie das bei der Leydener Flasche der Fall ist, kommt daher, daß der auf einer langen Strecke zu gleicher Zeit erzeugte Schall zu verschiedenen Zeiten in unser Ohr gelangt, weil die einzelnen Punkte jener Strecke verschiedene Entfernung von uns haben.

Das Rollen des Donners, d. h. das mehrmalige Stärker- und Schwächerwerden des Schalles, rührt wohl daher, daß sich an verschiedenen Stellen des Blitzstrahles verschieden große Mengen von Electricität ausgleichen, oder von der geschlängelten Bahn des Blitzes her. Von dem

Theile der Blitzbahn, welcher auf unser Ohr zu gerichtet ist, müssen wir einen schwächeren Schall hören, als von dem, welcher senkrecht auf dieser Richtung steht.

Dieselbe Erscheinung, wie wenn man eine klingende Stimmgabel senkrecht vor das Ohr hält und sie um ihre Achse dreht. Oder: Wenn ein Gewehr abgeschossen wird, so hört man an Orten, die in der Richtung des Gewehrlaufes liegen, also z. B. in der Nähe der Scheibe, nach welcher geschossen wird, oder hinter dem Schützen den Knall schwächer, als wenn man seitwärts von ihm steht.

Der heftige Wind, den fast jedes Gewitter mit sich führt, entsteht durch die Abkühlung, die das Gewitter theils durch seinen Schatten, theils auf dieselbe unbekannte Weise, wie den Hagel erzeugt.

Das Wetterleuchten.

b. Das Wetterleuchten

kann dadurch entstehen, daß die Blitze eines unter unserm Horizonte befindlichen Gewitters Wolken erleuchten, welche über demselben stehen, oder dadurch, daß zwischen zwei Wolken eine Electricitätsausgleichung in der Weise stattfindet, wie aus einer auf den Conductor geschraubten Spitze.

Das Elmsfeuer.

c. Das Elmsfeuer,

Flämmchen auf den Spitzen der Masten oder der Thürme, scheint eine ähnliche Ausströmung zu sein.

Franklin hat zuerst die electrische Natur des Gewitters erkannt und den Blitzableiter erfunden. 1752.

§ 169. Die Electrisirmaschine von Holtz.

§ 169. Die Electrisirmaschine von Holtz, Influenzmaschine genannt. Um die Art der Wirksamkeit dieser Maschine zu verstehen, muß man folgende Erscheinungen kennen:

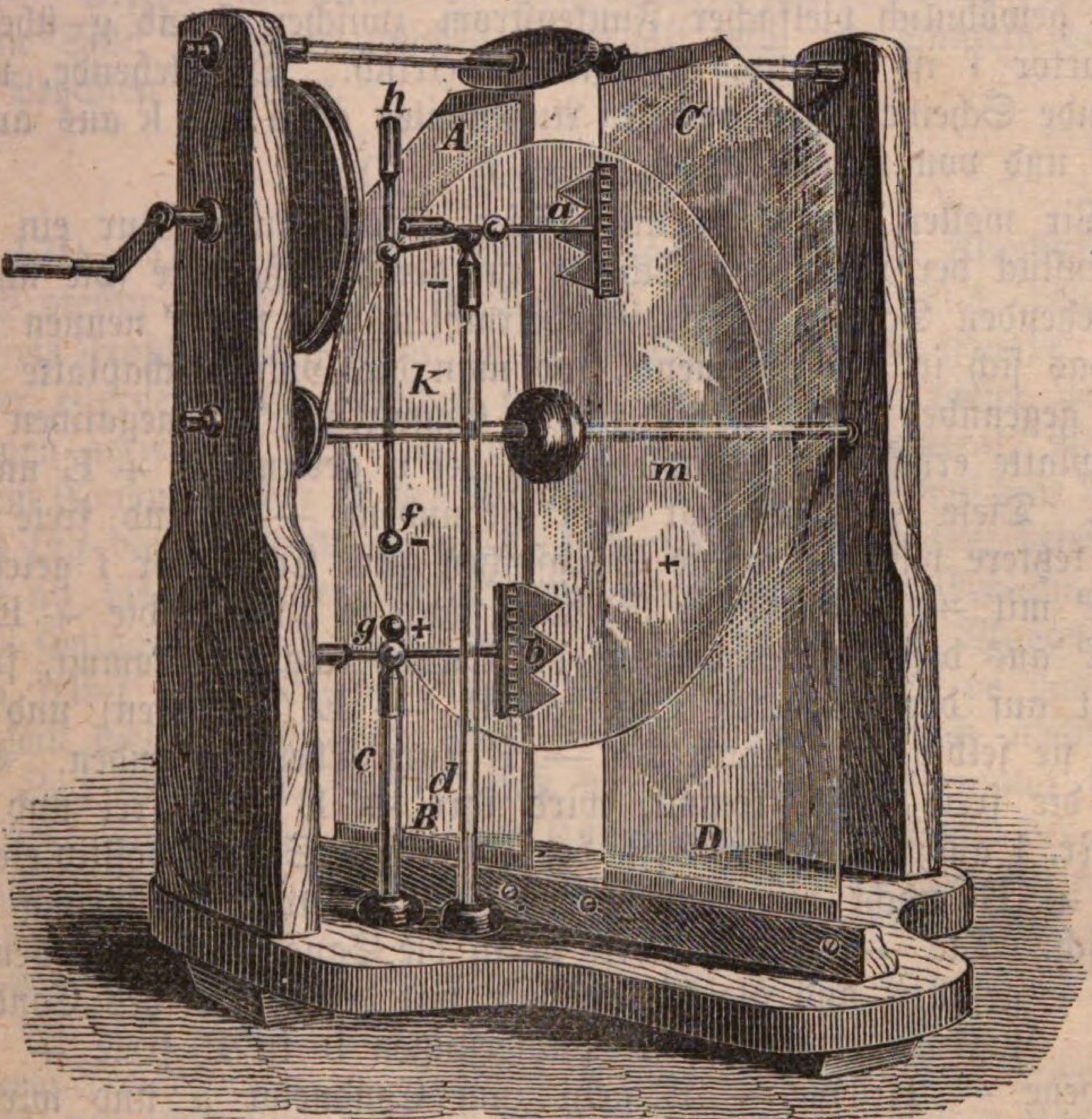
1) Macht man eine nichtleitende Scheibe, etwa eine Glas- oder eine Guttapercha-Scheibe, auf der einen Seite electrisch, so zeigt sie auf der andern Seite die gleichnamige Electricität.

2) Hält man eine solche nicht electrische Scheibe mit der einen Fläche in die electrische Atmosphäre des positiven Conductors einer gewöhnlichen Electrisirmaschine, so zeigt die abgewandte Seite + E; entfernt man sie, so ist sie wieder unelectrisch. Berührt man aber die abgewandte Seite der Scheibe, während diese in der electrischen Atmosphäre ist, mit der flachen Hand, so zeigt sie nach Entfernung aus derselben auf beiden Seiten — E. Dieser Vorgang läßt sich folgendermaßen erklären: Durch die + E des Conductors findet auf der abgewandten Seite der Scheibe eine Vertheilung der beiden Electricitäten statt. Die — E wird durch die + E des Conductors gebunden, die + E ist frei. Wird die Scheibe entfernt, so gleichen sich die beiden Electricitäten der abgewandten Seite wieder aus. Wenn man diese aber mit der Handfläche berührt hatte, so wurde dadurch die + E abgeleitet, die — E blieb gebunden zurück. Mit Entfernung der Scheibe vom Conductor wird diese — E frei und erzeugt auf der andern Seite + E′ und — E′; die + E′ wird von der — E gebunden, die — E′ ist

frei und von der — E bleibt ebenfalls ein Theil frei. (Wie bei der Leydener Flasche, wo die innere mit + E geladene Stanniolbelegung auf der äußeren Belegung die — E vollständig bindet, aber doch noch einen Ueberschuß freier + E behält.)

Die genannte Maschine hat nun folgende Einrichtung (Fig. 205): Eine runde, auf einer gläsernen Achse befestigte Glasscheibe läßt sich

Fig. 205.



vermittelst Kurbel und Schnurlauf in sehr schnelle Rotation versetzen. Auf der einen Seite derselben stehen zwei andere Glasscheiben AB und CD parallel und so nahe als möglich neben ihr, ohne sie jedoch zu berühren, zwischen sich selbst aber einen Raum von etwa 1 Decimeter frei lassend. An jede derselben ist ein in Spitzen ausgeschnittener gefirnißter steifer Papierstreifen a und b angeleimt, dessen Spitzen an der rotirenden Scheibe anliegen. Diesen gegenüber an der Außenseite der rotirenden Scheibe ist je ein rundes Messingstäbchen mit Saugspitzen angebracht, welche von zwei Glasstäben c und d getragen werden und mit den Messingkugeln f und g (Conductoren) in leitender Verbindung stehen. Die Kugel f läßt sich vermittelst des verschiebbaren Messingstabes fh, welcher oben einen isolirenden Griff h hat, der Kugel g nach Belieben nähern oder von ihr entfernen.

Die Maschine wird in folgender Weise in Thätigkeit gesetzt: Man schiebt die Kugel f bis zur Berührung an die Kugel g, dreht die Scheibe

in der Richtung gegen die Papierspitzen, und hält einen Augenblick einen electrischen Körper, am bequemsten eine kleine mit Wolle oder Fuchsschwanz geriebene Guttaperchaplatte an die rotirende Scheibe und zwar in den Zwischenraum zwischen den stehenden Scheiben, da wo einer der Papierstreifen sich befindet, also etwa bei a. Nun ist, wie man sich ausdrückt, die Maschine geladen. Zieht man dann den Stab f h etwas in die Höhe, so geht bei fortgesetztem Drehen ein continuirlicher, gewöhnlich vielfacher Funkenstrom zwischen f und g über; der Conductor f ist negativ, g positiv electrisch. Die stehende, wie die rotirende Scheibe zeigen auf den Außenseiten etwa von k aus aufwärts — E und von m aus abwärts + E.

Wir wollen zur Erklärung dieser Erscheinungen nur ein kleines Flächenstück der rotirenden Scheibe auf deren Außenseite (die nicht von der stehenden Scheibe bedeckt ist) betrachten, das wir P nennen wollen, und das sich in dem Momente, wo man die Guttaperchaplatte anhält, dieser gegenüber befindet. Durch die Einwirkung der negativen Guttaperchaplatte erhalten die Papierspitzen bei a gebundene + E und freie — E. Diese — E erzeugt in P gebundene + E und freie — E. Diese letztere wird durch die Saugspitzen zum Conductor f geleitet, es geht P mit + E durch die Rotation nach m zu und die + E wird, weil P aus dem Wirkungsraume der Guttaperchaplatte kommt, frei und erzeugt auf der stehenden Scheibe CD, — E (gebunden) und + E (frei); sie selbst wird durch die — E zum Theil gebunden. Sobald P an die freie Stelle kommt, wird ihre + E ganz frei und macht nach Nr. 1 auch die andere Seite der rotirenden Scheibe positiv electrisch. Diese + E macht die Papierspitzen bei b durch Berührung positiv electrisch. Die + E des P wird durch die Saugspitzen nach dem Conductor g geführt, und gleicht sich hier mit der — E des Conductors f aus. Zugleich erzeugen die Papierspitzen b in P freie + E und gebundene — E; die + E geht zum Conductor g und wird dort ausgeglichen. P geht nun mit — E aufwärts nach k. Diese — E wird hier frei und erregt auf der Außenseite der stehenden Scheibe freie — E und gebundene + E, sie selbst wird durch diese + E zum Theil gebunden, bis sie in dem freien Raume oben bei a ganz frei wird und die Papierspitzen bei A wieder negativ electrisch macht und so fort.

Die Maschine giebt eine weit größere Electricitäts-Quantität und mindestens dieselbe Spannung, als die gewöhnliche Electrisirmaschine und wirkt, wenn sie gut gearbeitet und in einem trockenen Zimmer aufgestellt ist, bei jeder Witterung.*)

Will man eine Leydener Flasche oder eine Batterie laden, so entfernt man die Conductoren f und g so weit von einander, daß kein

*) Fünfzig Umdrehungen der Maschine unseres Cabinets, die eine Scheibe von 47 Centimeter Durchmesser hat, reichen hin, einen dünnen Eisendraht von 8 Centimeter Länge zu schmelzen und ein Weinglas (siehe § 165 Nr. 4) zu zertrümmern.

Funken überspringen kann und setzt den einen mit der innern Belegung, den andern mit der äußern Belegung der Leydener Flasche oder Batterie, letztere aber auch noch mit dem Erdboden in leitende Verbindung.

Hat man in dieser Weise eine Leydener Flasche oder Batterie mit der Maschine verbunden, so erhält man zwischen den Conductoren periodische Entladungen, wenn ihre Entfernung von einander nicht zu groß ist. Ersetzt man dann die Conductoren durch Metallspitzen und steckt ein Stück Zucker dazwischen, so erhält man im Dunkeln das bekannte Leuchten desselben.

C. Galvanismus.

§ 170. Historisches. Im Jahre 1789 machte Aloysius Galvani, Professor der Medicin in Bologna, die Beobachtung, daß frisch präparirte Froschschenkel, wenn er sie an kupferne Haken hängte, welche an einer eisernen Leiste befestigt waren, bei Berührung dieser Leiste in Zuckungen geriethen. Da nun dieselbe Erscheinung eintrat, wenn er aus dem Conductor der in der Nähe stehenden Electrisirmaschine Funken zog, so lag die Vermuthung nahe, daß auch jenes Zucken beim Aufhängen an die kupfernen Haken von einer electrischen Erregung herrühre. Galvani schrieb diese Erscheinung einer in den Muskeln und Nerven selbst vorhandenen Electricität zu; doch konnte er das Vorhandensein dieser Electricität durch keinen andern Versuch nachweisen. Einige Zeit später fand Volta, daß die bei jener Erscheinung thätige Electricität hauptsächlich durch den Contact des Kupfers und des Eisens hervorgebracht werde, und daß überhaupt, so oft sich zwei verschiedene Metalle berühren, das eine positiv, das andere negativ electrisch werde, und setzte die Richtigkeit dieses Satzes mit Hilfe des einige Jahre früher von ihm erfundenen Condensators außer Zweifel. § 170. Entdeckung des Galvanismus.

Berührt man die untere kupferne Condensatorplatte eines Electroscops (s. § 166) mit einer Zinkplatte, indem man diese in der bloßen Hand hält, und die obere Condensatorplatte mit dem Finger, und hebt darauf letztere ab, so zeigt das Goldblättchen — E.

Ist die untere Condensatorplatte von Zink, und man berührt sie mit einer Kupferplatte, so zeigt das Goldblättchen nachher + E.

Warum zuckten die Froschschenkel, wenn aus der Electrisirmaschine Funken gezogen wurden?

(Wir werden am Ende dieses Abschnittes sehen, daß die Annahme Galvani's, in den Muskeln und Nerven sei Electricität thätig, richtig war; aber sie war nicht die Ursache jener Zuckungen.)

§ 171. 1) Je zwei Metalle werden durch Berührung electrisch. Sie bilden einen Körper, welcher polar-electrisch, d. h. von der Berührungsstelle nach der einen Seite positiv, nach der andern negativ electrisch ist. § 171. Erfolg der Berührung zweier oder mehrerer Metallplatten.

2) Die Spannung der Electricität bleibt dieselbe, mögen sich die Platten in wenigen oder in vielen Punkten berühren.

3) An der Berührungsstelle ist die Electricität am stärksten, aber größtentheils gebunden.

Denn schraubt man auf das Goldblatt-Electroscop anstatt der untern Condensatorplatte eine ungefirnißte Kupferplatte, und setzt auf diese eine ebenfalls nicht gefirnißte Zinkplatte, welche mit einer gläsernen Handhabe versehen ist, so zeigt das Electroscop erst beim Abheben der Zinkplatte einen kleinen Ausschlag. Der Erfolg wird stärker, wenn man die Zinkplatte öfter abhebt und nach dem Abheben jedesmal mit dem Finger berührt.

4) Ein und dasselbe Metall wird bald positiv, bald negativ electrisch, je nachdem es mit diesem oder jenem Metall in Berührung kommt.

Z. B. Eisen wird in Berührung mit Zink negativ, in Berührung mit Silber positiv electrisch.

5) Alle Metalle lassen sich in eine Reihe so ordnen, daß irgend eines derselben mit jedem vorhergehenden negativ, mit jedem folgenden positiv electrisch wird; z. B.

Spannungsreihe.

+ Zink, Blei, Zinn, Eisen, Kupfer, Silber, Gold, Platin, Kohle —.

6) Je weiter zwei Metalle in dieser Reihe von einander stehen, desto stärker ist die Spannung der durch sie erzeugten Electricität. Daher heißt sie Spannungsreihe.

7) Die electrische Spannung zweier Metalle ist gleich der Summe der Spannung der dazwischen liegenden Glieder.

Nennen wir z. B. die Spannung der durch Berührung von Zinn und Eisen erregten Electricität „einen Grad Spannung", und erzeugt nach dieser Bezeichnung die Berührung von Eisen und Kupfer $1\frac{1}{2}$ Grad, die von Kupfer und Silber $2\frac{1}{2}$ Grad, die von Silber und Gold 2 Grad, so ist die Spannung der durch Berührung von Zinn und Gold erregten Electricität

$$= 1 + 1\frac{1}{2} + 2\frac{1}{2} + 2 = 7 \text{ Grad.}$$

8) Wenn man mehrere Metalle über einander schichtet, so ist die Spannung der Endplatten gerade so groß, als ob sie sich unmittelbar berührten.

Diese Erscheinung läßt sich in folgender Weise erklären:

Gesetzt, man legt Gold, Silber, Kupfer, Eisen und Zinn übereinander (Fig. 206), und die Spannungen zwischen den einzelnen Metallen seien die vorhin angenommenen, so wird durch die Berührung der Platten Z und E ein Grad positiver und ein Grad negativer Electricität erzeugt. Die positive scheidet sich in der Richtung von E nach Z, die negative in der Richtung von Z nach E ab. Letztere wird durch die Platten K, S bis G fortgeleitet. Es entsteht also auf G durch die Berührung zwischen Z und E ein Grad negativer Electricität. Ebenso scheidet sich durch die Berührung zwischen E und K $1\frac{1}{2}$ Grad positive Electricität in der Richtung von K nach E hin ab, und $1\frac{1}{2}$ Grad negative in der Richtung von E nach K. Erstere wird bis zur Fläche Z, letztere bis zu G fortgeleitet. Es entsteht also durch die beiden Berührungen zwischen Z und E und zwischen E und K auf der Fläche Z

1 + 1½ Grad positive, auf der Fläche G 1 + 1½ Grad negative Electricität u. s. f. Sonach müssen auf der Fläche Z 7 Grad positive und auf G 7 Grad negative Electricität entstehen, d. i. gerade so viel, als ob sich Z und G unmittelbar berührten.

Fig. 206.

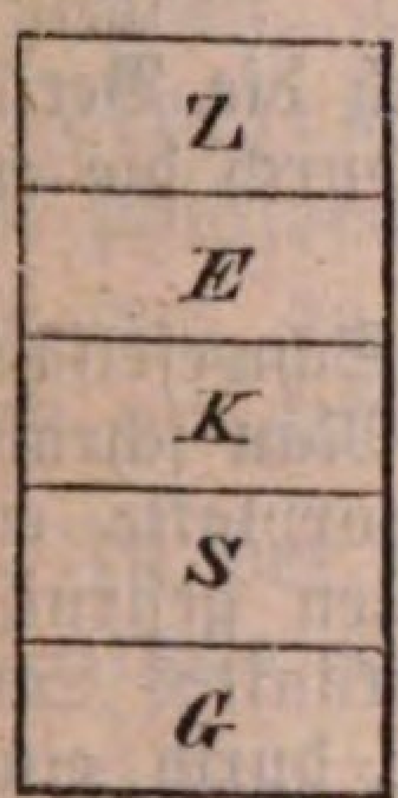


Fig. 207.

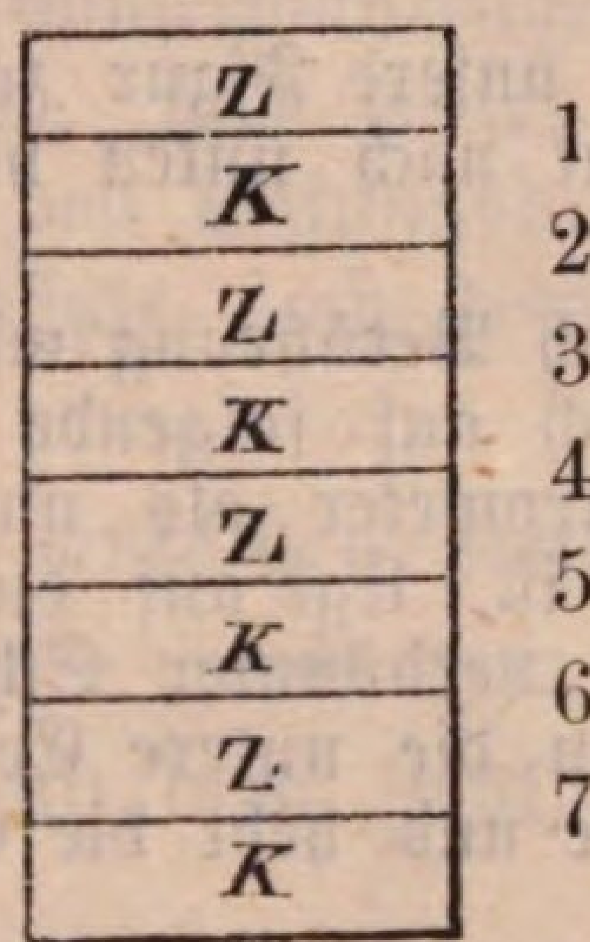
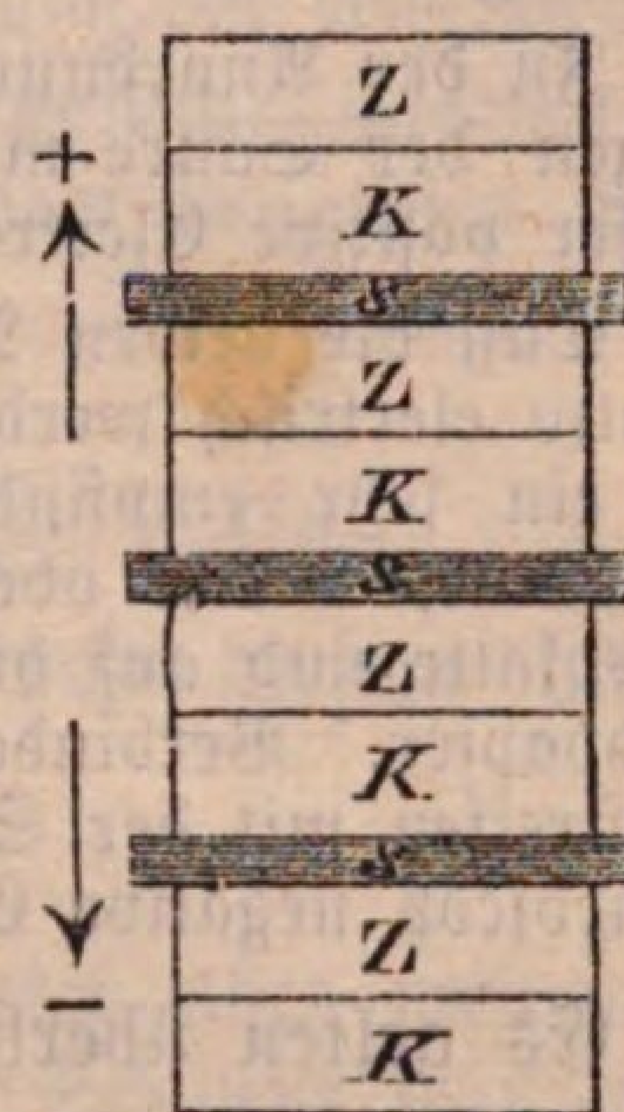


Fig. 208.



Hieraus geht auch hervor, daß, wenn man abwechselnd eine Menge Kupfer- und Zinkplatten übereinanderschichtet (Fig. 207), man auf den Endplatten nur gerade so viel Electricität erhält, als ein einziges Plattenpaar erzeugt. Denn während durch die 1ste, 3te, 5te, 7te Berührung auf der obersten Platte positive und auf der untersten negative Electricität erzeugt wird, erzeugen die 2te, 4te, 6te Berührung auf der obersten Platte negative und auf der untersten positive Electricität.

§ 172. Hiernach scheint es, als ob man durch Uebereinanderschichten mehrerer Plattenpaare derselben Metalle die Electricität nicht verstärken könne. Dennoch läßt sich dieser Zweck erreichen, wenn man diejenigen metallischen Berührungen, welche dem Effect hinderlich sind, also die in 2, 4 und 6, beseitigt, ohne daß man die Leitung aufhebt, und das geschieht dadurch, daß man einen guten, aber nicht metallischen Leiter, nämlich einen feuchten Leiter (Tuchläppchen oder Pappscheiben, welche mit verdünnter Schwefelsäure getränkt sind) dazwischen legt (Fig. 208). Denn in dieser Zusammensetzung erzeugen alle metallischen Berührungen nach einerlei Richtung hin positive, nach der entgegengesetzten negative Electricität. § 172. Die Volta'sche Säule.

Erklärung. Eine solche Zusammensetzung heißt Volta'sche Säule.

Ein in metallischer Berührung stehendes Plattenpaar mit dazwischen befindlichem feuchten Leiter heißt einfache Galvani'sche Kette oder ein galvanisches Element.

§ 173. In der Volta'schen Säule sind jedoch die feuchten Läppchen nicht bloße Electricitätsleiter, sondern sie erzeugen durch ihre Berührung mit den Metallen auch Electricität, und zwar wird sowohl Zink als auch Kupfer negativ electrisch. Die Berührungen der Säure mit dem Zink erhöhen daher den Effect der Säule, die Berührungen § 173. Die feuchten Leiter erzeugen auch Electricität.

derselben mit dem Kupfer schwächen ihn. Da aber die durch die Säure in dem Zink erregte negative Electricität etwas stärker ist, als die in dem Kupfer erzeugte, so wird durch die gesammten Berührungen der Säure und der beiden Metalle die Wirkung der metallischen Berührungen noch etwas erhöht.

In der Anordnung, wie sie unsere Figur zeigt, wird durch die Berührungen der Säure mit dem Zink nach unten hin negative, durch die mit Kupfer positive Electricität erregt.

Daß die beiden Metalle durch Berührung mit verdünnter Schwefelsäure negativ electrisch werden, läßt sich auf folgende Art zeigen: Man schraubt auf ein sehr empfindliches Electrometer als untere Condensatorplatte eine Zinkplatte, welche oben gefirnißt ist, legt auf dieselbe eine unten gefirnißte Glasplatte und auf diese ein mit verdünnter Schwefelsäure getränktes Stück Löschpapier. Verbindet man dann die untere Condensatorplatte durch einen Zinkstreifen mit der Schwefelsäure und hebt die Glasplatte ab, so zeigt das Electroscop negative Electricität.

Gesetze für die durch Flüssigkeiten erzeugte Electricität.

Es gelten überhaupt für die Flüssigkeiten folgende Gesetze:

1) Alle Flüssigkeiten machen die Metalle electrisch.

Z. B. reines Wasser macht Zink und Platina negativ electrisch. Durch verdünnte Schwefelsäure wird Gold und Platina positiv, Kupfer und Zink, wie schon angeführt, negativ electrisch; concentrirte Salpetersäure erregt Platin, Gold, Kupfer, Eisen positiv, Zink negativ electrisch.

2) Die Flüssigkeiten lassen sich aber nicht in die Spannungsreihe einordnen.

Denn da Salpetersäure Zink negativ electrisch macht, so müßte sie in der Spannungsreihe über diesem stehen, also Kupfer noch stärker negativ electrisch machen; und doch wird Kupfer durch sie positiv electrisch.

§ 174. Spannung an der Volta'schen Säule.

§ 174. Die Volta'sche Säule muß also, wie oben gezeigt, wenn sie isolirt steht, an dem Ende, nach welchem hin von jedem Plattenpaare das Zink liegt, positiv, an dem andern negativ electrisch sein.

Aber die Spannung ist an den beiden Enden, wenn die Säule aus n Plattenpaaren besteht, nicht, wie man erwarten sollte, n mal so groß, als die eines einzigen Paares, sondern nur $\frac{n}{2}$mal so groß. Nach der Mitte zu nimmt die electrische Spannung ab, in der Mitte selbst ist sie gleich Null. Die isolirte Volta'sche Säule hat also, wie ein Magnet, zwei Pole und eine Indifferenzstelle.

Wird aber die Electricität an dem einen Pole abgeleitet, so ist die Spannung an dem andern, wenn die Säule aus n Plattenpaaren besteht, ungefähr n mal so groß, als die Spannung eines Paares, und nimmt von da nach dem andern Ende hin ab, wo sie gleich Null ist.

Die Electricität des einen Poles wird also durch die des andern Poles zum Theil gebunden, so wie bei der Electrisirmaschine die Electricität der Scheibe durch die des Reibzeuges gebunden wird, wenn man diese nicht ableitet.

Im Allgemeinen ist die Spannung an den Polen der Säule im Vergleich mit der durch Reibung erzeugten Electricität ungemein gering, wie sich durch jedes Electroscop zeigen läßt.

Werden die Pole der isolirten Säule durch einen Leitungsdraht verbunden, so entsteht eine immerwährende Ausgleichung der Electricität, ein electrischer Strom, und zwar geht die positive Electricität vom positiven Pole durch den Leitungsdraht nach dem negativen Pole und von da durch die Säule nach dem positiven. Die Säule heißt dann geschlossen. Electrischer Strom.

In der geschlossenen einfachen Kette geht der positive Strom vom Zink durch die Säure nach dem Kupfer, von diesem durch den Verbindungsdraht nach dem Zink.

§ 175. Die beschriebene Volta'sche Säule bietet aber mehrfache Uebelstände: Die oberen Platten drücken durch ihre Schwere sehr stark auf die unteren; dadurch werden die untern Tuchläppchen ausgepreßt, also trocken, verlieren dadurch ihre Leitungsfähigkeit, und die an der Seite herablaufende Flüssigkeit bildet eine leitende Verbindung zwischen den einzelnen Plattenpaaren, wodurch die entstandene Electricität sich zum Theil wieder ausgleicht. Man hat daher für die Volta'sche Säule andere galvanische Apparate ausfindig gemacht, von denen die wichtigsten folgende sind: § 175. Verschiedene Formen der galvanischen Säule.

Fig. 209.



1) Eine Reihe von Gefäßen (Fig. 209) ist mit verdünnter Schwefelsäure gefüllt. In jedes ist eine Kupfer- und eine Zinkplatte eingetaucht, von denen je zwei durch einen Kupferstreifen so verbunden sind, wie es die Figur zeigt.

Durch die Verbindung bc wird die Kupferplatte b negativ, die Zinkplatte c positiv electrisch. Die − E der Platte b wird durch die Säure nach der Platte a fortgeleitet. Die + E der Platte c geht durch die Säure nach der Platte d, von da durch de, dann durch die Säure nach der Platte f u. s. f. bis zur Platte m. Ebenso wird die durch die Verbindung de in der Platte c erzeugte + E bis m, und die in d erregte — E bis a fortgeleitet u. s. w., so daß a und m die Pole werden.

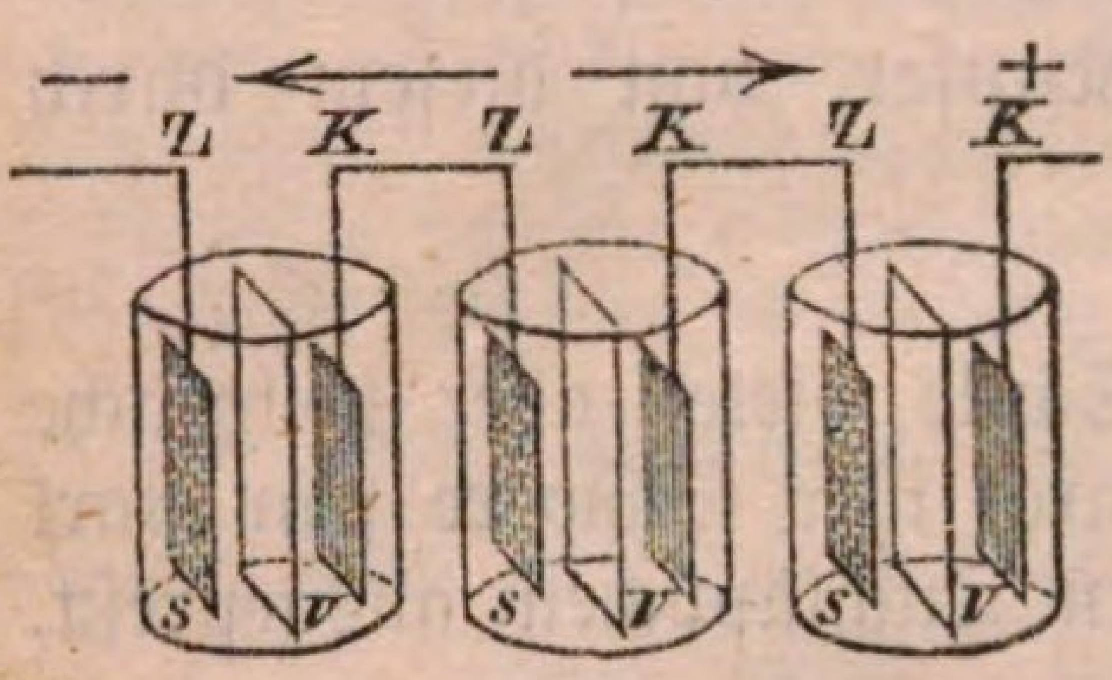
Erklärung. Verbindet man in dem eben beschriebenen Apparate nicht je eine Kupferplatte mit einer Zinkplatte, sondern setzt man alle Zinkplatten in metallische Berührung und ebenso alle Kupferplatten, und führt dann einen Metalldraht von der Kupferplattenverbindung zur Zinkplattenverbindung, so hat man eine einfache galvanische Kette mit n mal so großer Kupfer- und Zinkplatte, wenn nämlich der Apparat aus n Elementen besteht. Eine solche, aus mehreren Platten gebildete einfache Kette wollen wir eine galvanische Batterie, eine Verbin-

dung von galvanischen Elementen aber, in welchen immer je zwei ungleichnamige Platten in metallischer Berührung stehen, eine galvanische Säule nennen. Man nennt die galvanische Säule auch zusammengesetzte galvanische Kette.

Die Daniell'sche Kette,

2) Die Daniell'sche Säule (Fig. 210) unterscheidet sich von der vorigen nur dadurch, erstens, daß jedes Gefäß durch eine Scheidewand von porösem Thone in zwei Zellen getheilt ist, so daß sich die Kupferplatte in der einen, die Zinkplatte in der andern Zelle befindet, und zweitens, daß die die Kupferplatte enthaltende Zelle nicht wie die andere mit verdünnter Schwefelsäure, sondern mit concentrirter Kupfervitriol-Lösung gefüllt ist.

Fig. 210.



Die Scheidewand von porösem Thone trennt blos die Flüssigkeiten, hebt aber die Leitung nicht auf. In dieser Säule belegen sich beim Schließen derselben die Kupferplatten nicht mit Wasserstoff, sondern mit regulinischem Kupfer.

die Bunsen'sche,

3) Die Bunsen'sche Säule ist noch wirksamer, als die Daniell'sche. Sie unterscheidet sich von dieser dadurch, daß an der Stelle des Kupfers ausgeglühte Steinkohle, und anstatt des Kupfervitriols concentrirte Salpetersäure steht.

die Grove'sche.

4) Die Grove'sche Säule ist nur darin von der Bunsen'schen verschieden, daß sie an der Stelle der Kohle Platina hat, welches bei weitem besser als Kohle leitet. Die Daniell'sche, die Bunsen'sche und die Grove'sche galvanische Kette heißen auch viergliedrige Ketten.

In der Regel stellt man die beiden Zellen in jedem Gefäße nicht durch eine Scheidewand her, sondern dadurch, daß man in das äußere Gefäß einen unten geschlossenen Cylinder von porösem Thon setzt, der dann die eine Flüssigkeit mit dem dazu gehörigen Metalle enthält, während sich die andere Flüssigkeit mit ihrem Metalle in dem äußeren Gefäße befindet. Und um möglichst große Platten anwenden zu können und möglichst dünne Flüssigkeitsschichten zu haben, giebt man den Platten, so wie der Kohle die Form eines Cylinders.

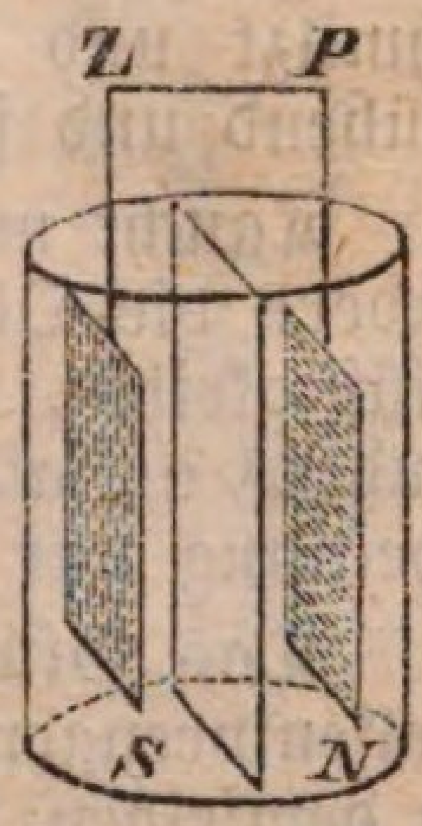
Vorzüge der beiden letzteren.

Die Bunsen'sche und die Grove'sche Kette sind deshalb constant, weil das bei der Schließung derselben an der Kohle oder dem Platina entstehende Wasserstoffgas sich mit einem Theile des in der Salpetersäure enthaltenen Sauerstoffs wieder zu Wasser verbindet.

Die große Wirksamkeit der Grove'schen Kette hat aber außer in den schon angeführten Umständen auch noch in Folgendem ihren Grund: Durch die Berührung des Zinks mit dem Platina wird das Zink positiv, das Platina negativ electrisch, und da sich die Electricitäten durch die Säure und die Scheidewand ausgleichen können, so entsteht ein electrischer Strom, dessen positiver Theil vom Zink durch die Säure nach dem Platina und von diesem durch den Verbindungsdraht nach

dem Zink geht. Durch die Berührung der Salpetersäure mit Platina wird das Platina positiv electrisch, also wird durch diese Berührung ebenfalls ein positiver Strom erzeugt, welcher von der Säure nach dem Platina und von diesem durch den Verbindungsdraht nach dem Zink geht. Durch die Berührung der Schwefelsäure mit dem Zink wird das Zink negativ, also die Schwefelsäure positiv electrisch. Diese + E geht durch die Salpetersäure nach dem Platina u. s. w., also auch in derselben Richtung, wie die durch die andern beiden Berührungen erregte Electricität (Fig. 211).

Fig. 211.

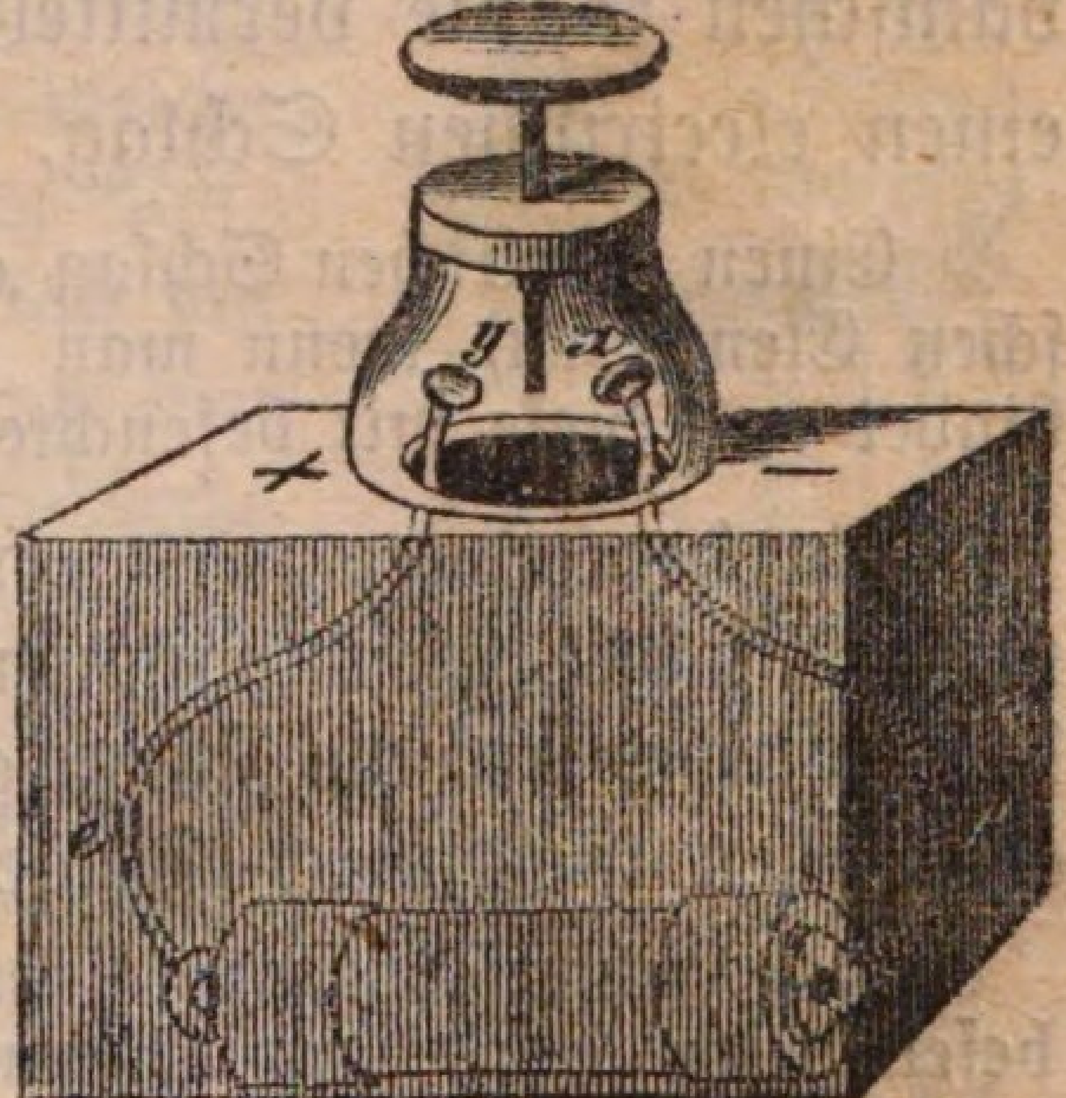


Bemerkung. Eine für den Schulgebrauch sehr praktische Kette ist die aus Kohle, Zink und einer Lösung von saurem schwefelsaurem Quecksilber bestehende, welche wochenlang wirksam bleibt, wenn man nach jedesmaligem Gebrauch das Zink aus der Lösung zieht.

Die trockene Säule.

5) Die trockene oder Zamboni'sche Säule erhält man, wenn man unächtes Goldpapier (Kupfer) und Silberpapier (Zinn) mit der Papierseite zusammenklebt, dann Scheiben daraus schneidet und 1000 bis 2000 derselben in einer Glasröhre so übereinandergeschichtet, daß die Kupfer- und die Zinkfläche sich berühren, und die Kupferseite immer nach derselben Richtung hin liegt. Das Papier, welches immer etwas Feuchtigkeit aus der Luft einsaugt, vertritt hier die Stelle des feuchten Leiters. Diese Säulen behalten ihre Wirksamkeit sehr lange Zeit.

Fig. 212.



Das Fechner'sche Electroscop.

Solche Säulen hat Bohnenberger zur Construction eines sehr empfindlichen Electroscops benutzt, welchem Fechner folgende Einrichtung gegeben hat (Figur 212): Unter einem Goldblatt-Electroscop, wie es § 166 beschrieben ist, das aber nur ein Goldblättchen enthält, liegt eine Zamboni'sche Säule. Von deren Polen gehen zwei Drähte, e und f, in das Glasgefäß, die zu beiden Seiten des Goldblättchens in eine Metallplatte, x und y endigen. Je nachdem nun dem Goldblättchen — E oder + E mitgetheilt wird, wendet es sich nach der positiven oder der negativen Platte.

Wirkungen des electrischen Stromes.

Der durch die Schließung der galvanischen Säule hervorgebrachte Strom bringt im Allgemeinen dieselben Wirkungen hervor, als der Funke der Leydener Flasche, nur diejenigen nicht, welche eine große Spannung erfordern; alle übrigen sind stärker.

§ 176. Physikalische Wirkungen des electrischen Stromes.

§ 176. Physikalische Wirkungen. Der electrische Strom erzeugt Licht, Wärme, Magnetismus.

Beim Trennen der Poldrähte einer galvanischen Säule zeigt sich ein Funken. Befestigt man an den beiden Pol-Enden einer galvanischen Säule zugespitzte Kohlenstücke, am besten von der Masse, wie sie in der Bunsen'schen Kette gebraucht wird, und bringt diese in Berührung, so zeigt sich zwischen ihnen ein sehr glänzendes Licht. Durch eine Bunsen'sche Säule von 4 Elementen (Plattenpaaren) läßt sich diese Erscheinung hervorbringen. Bei 20 bis 30 Elementen lassen sich die Kohlenspitzen von einander entfernen, wodurch ein Lichtbogen entsteht, dessen Glanz den des Drummond'schen Kalklichtes weit übertrifft.

Ist der Verbindungsdraht ein dünner Eisendraht, so wird er glühend, schmilzt und verbrennt unter Funkensprühen. Platindraht wird ebenfalls glühend und schmilzt.

Taucht man einen der Poldrähte in eine Flüssigkeit und berührt mit dem andern die Oberfläche derselben, so glüht der eingetauchte Draht, in einigen Flüssigkeiten, wenn er der positive, in andern, wenn er der negative ist, besonders auffallend in concentrirter Schwefelsäure. In der Regel ist die Erscheinung nur im Dunkeln sichtbar.

Das Glühen hat man mit Erfolg zum Entzünden des Pulvers beim Felsensprengen benutzt; denn man kann dadurch das Pulver vieler Bohrlöcher in demselben Momente entzünden, wodurch die Wirkung auf den Felsen bedeutend erhöht wird. Auch bedienen sich die Aerzte jetzt dieses durch den Galvanismus glühenden Drahtes, wo sie früher ein glühendes Eisen anwandten, z. B. zum Ausbrennen von Wunden.

Leitet man den electrischen Strom spiralförmig um einen Eisenstab, so wird dieser magnetisch.

§ 177. Physiologische Wirkungen.

§ 177. Physiologische Wirkungen. Beim Schließen der galvanischen Säule vermittelst des menschlichen Körpers erhält man einen electrischen Schlag, ebenso beim Trennen.

Einen merklichen Schlag erhält man schon von einer Säule von 8 Grove'schen Elementen, wenn man die Poldrähte mit messingenen Cylindern verbindet und diese mit befeuchteten Händen anfaßt.

In dem Augennerv erregt der galvanische Schlag eine Lichterscheinung, in den Geschmacksnerven eine Geschmacksempfindung, und zwar der positive, auf die Zunge gehalten, einen säuerlichen, der negative einen alkalischen Geschmack (Folge der chemischen Zersetzung des Speichels).

Die Lichterscheinung sieht man, wenn man den einen Poldraht in der befeuchteten Hand, den andern an die befeuchtete Stirn hält, oder auch schon, wenn man einen silbernen Löffel an die eine Seite, einen Zinkstreifen an die andere Seite des oberen Zahnfleisches hält und die anderen Enden mit einander in Berührung bringt. Ebenso kann man die Geschmacksempfindung durch die beiden genannten Körper hervorbringen.

§ 178. Chemische Wirkungen.

§ 178. Chemische Wirkungen. 1) Der galvanische Strom zersetzt chemische Verbindungen.

(Anmerkung.) Die chemischen Wirkungen werden nur durch eine Säule, nicht durch eine Batterie hervorgebracht, weil bei letzterer erst

dann ein galvanischer Strom entstehen kann, wenn die Poldrähte in metallische Berührung kommen.

a. Wasser wird so zersetzt, daß sich der Sauerstoff am positiven, der Wasserstoff am negativen Pole sammelt. Zersetzung des Wassers,

Zur Wasserzersetzung eignet sich der durch Figur 213 dargestellte Apparat Ein Glasgefäß, welches mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron gefüllt ist, ist durch einen Korkpfropfen luftdicht verschlossen. In der Lösung hängen zwei nach Art der Reibeisen durchlöcherte Platinplatten an Drähten, welche durch den Kork gesteckt und oben außerhalb des Gefäßes mit einer Klemmschraube zur Aufnahme der beiden Poldrähte versehen sind. Sobald man die beiden Platinplatten mit den Poldrähten der galvanischen Säule in Verbindung setzt, entwickelt sich Knallgas, welches durch eine oben umgebogene, in eine feine Spitze endende Glasröhre entweicht. Das schwefelsaure Natron dient hier blos dazu, um dem Wasser eine größere Leitungsfähigkeit zu geben.

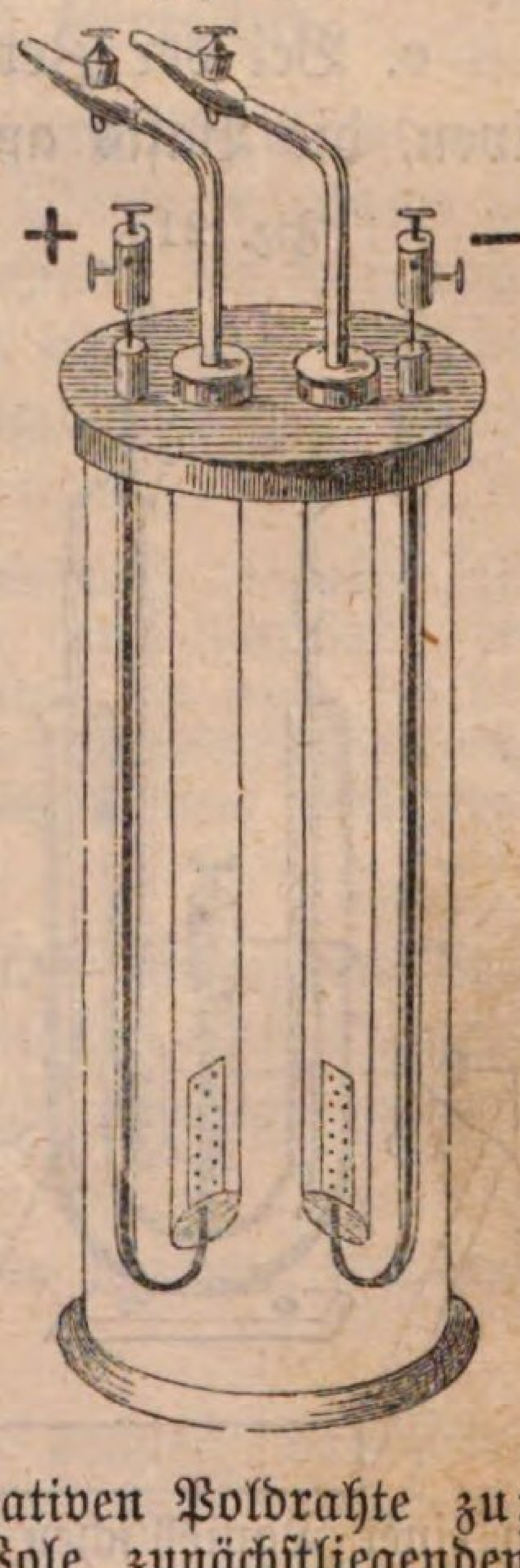
Fig. 213.



Taucht man die Spitze der Glasröhre in Seifenwasser, so bilden sich mit Knallgas gefüllte Blasen, welche bei Berührung mit einem glimmenden Spane explodiren.

Um die beiden Gasarten gesondert zu erhalten, bedient man sich des durch Fig. 214 dargestellten Apparates. In den Messingdeckel eines Glasgefäßes, welches mit einer Lösung von schwefelsaurem Natron gefüllt wird, sind zwei in enge Glasröhren eingeschlossene Drähte befestigt, welche über dem Deckel zur Aufnahme der beiden Poldrähte mit Klemmschrauben versehen sind, fast bis auf den Boden des Gefäßes reichen und auf den hier nach oben gebogenen Enden Platinbleche tragen, unter welchen die engen Glasröhren zugeschmolzen sind. Die Platinbleche ragen in zwei etwa 3 Centimeter weite Glasröhren, welche ebenfalls in dem Deckel befestigt sind und über demselben in zwei mit Hähnen versehene enge Messingröhren münden.

Fig. 214.



Daß die beiden Gase sich nur an den Poldrähten, also getrennt von einander ausscheiden, wird auf folgende Weise erklärt. Durch die Verbindung des Wasserstoffes mit Sauerstoff zu Wasser werden die Wasserstoffatome positiv, die Sauerstoffatome negativ electrisch. Durch die Einwirkung der Poldrähte wenden sich alle Sauerstoffatome des zwischen den Drähten befindlichen Wassers dem positiven, alle Wasserstoffatome dem negativen Poldrahte zu; dann werden die Sauerstoffatome der dem positiven Pole zunächstliegenden

Wassertheilchen frei, die Wasserstoffatome gehen auf den negativen Pol zu und bilden mit den in der Richtung vom negativen Pole kommenden Sauerstoffatomen Wasser, bis sie an den negativen Pol kommen, wo sie frei werden.

Die Zersetzung findet auch in den zwischen den Platten der Säule befindlichen feuchten Leitern statt, daher belegen sich die Kupferplatten in der Volta'schen Säule mit Wasserstoffbläschen und das Zink oxydirt.

Die Wasserzersetzung durch den galvanischen Strom wurde von Carlisle und Nicholson im Jahre 1800 entdeckt. Bis dahin war man nicht im Stande, das Wasser direct in seine Bestandtheile aufzulösen.

der Oxyde, b. Oxyde werden durch den galvanischen Strom so zerlegt, daß sich am positiven Pole der Sauerstoff, am negativen das Radical ausscheidet.

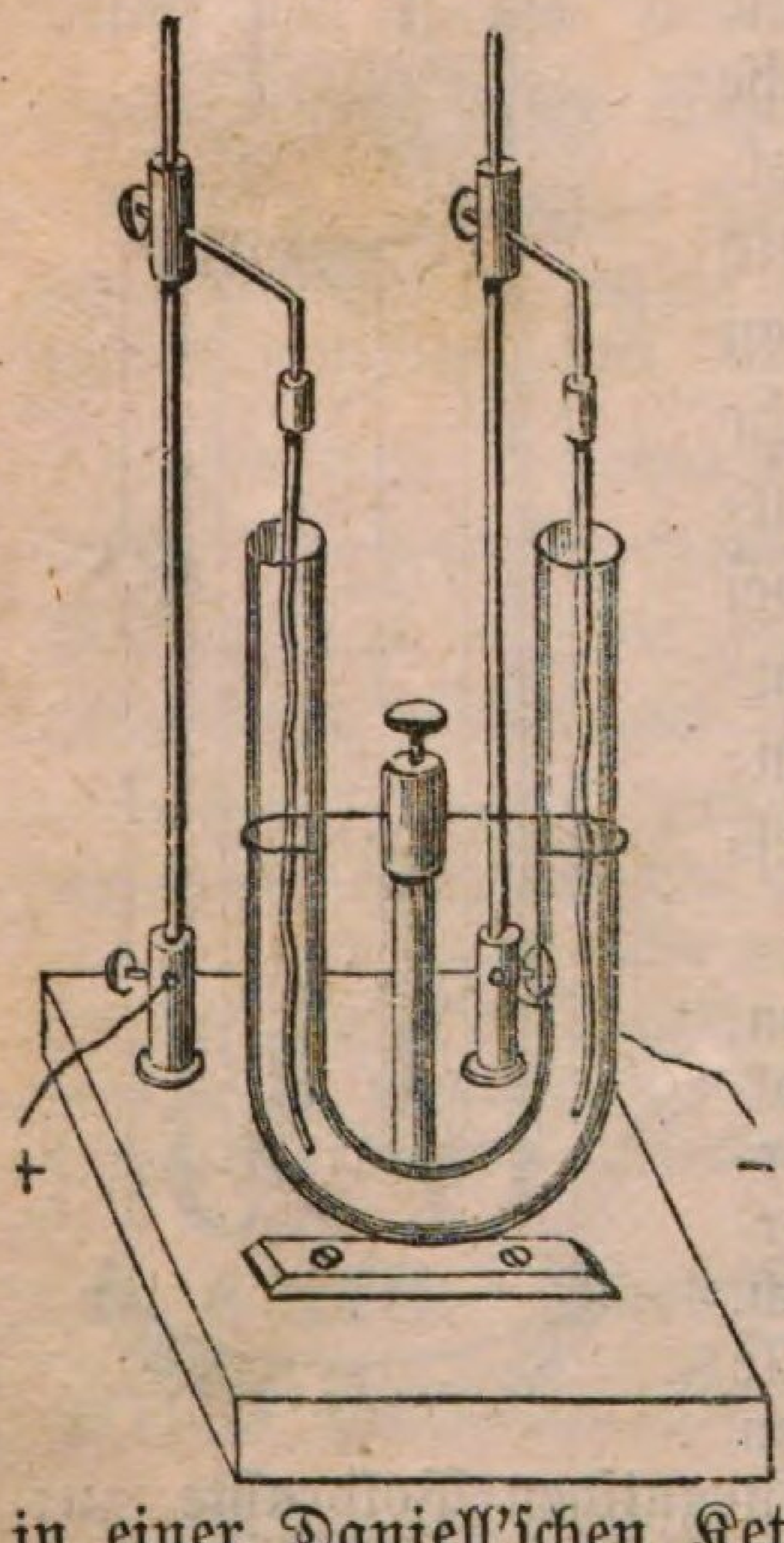
Feuchtet man ein leicht reducirbares Oxyd mit Wasser an und hält darein sehr nahe an einander die Poldrähte, so zeigen sich am negativen Pole bald kleine Metallkügelchen.

Im Jahre 1807 fand Davy, daß die Alkalien nicht einfache Körper seien, wie man bis dahin geglaubt hatte, sondern zu den Oxyden gehören. Dabei wurde Kalium und Natrium entdeckt.

Legt man auf ein Platinblech, welches mit dem positiven Poldrahte einer kräftigen Säule in Verbindung steht, ein Stückchen Natron, haucht es an und berührt es dann mit dem negativen Poldrahte, so bilden sich an diesem kleine Natriumkügelchen. Bringt man ein solches an dem Drahte hängendes Kügelchen in einen Tropfen Wasser, so verbrennt es mit lebhafter Flamme.

der Salze, c. Bei der Zersetzung der Salze erscheint die Säure am positiven, die Basis am negativen Pole.

Fig. 215.



Füllt man eine hufeisenförmig gebogene Röhre (Fig. 215) mit einer Salzlösung, welche man mit Lackmus violett gefärbt hat, taucht in jeden Schenkel der Röhre einen Platinstreifen, und setzt diese beiden Platinstreifen mit den Poldrähten in Verbindung, so wird die Flüssigkeit am positiven Pole roth, am negativen blau.

Wenn das Metall in der Salzblase ein nicht leicht oxydirbares ist, z. B. im schwefelsauren Kupferoxyd, so schlägt es sich am negativen Poldrahte metallisch nieder, während am positiven Pole Sauerstoff frei wird.

Hierauf gründet sich die Galvanoplastik, die galvanische Vergoldung, Versilberung u. dgl.

Um von einer Münze einen Abdruck herzustellen, macht man zunächst einen Abdruck in Wachs oder Stearin, den man erhält, wenn man die Münze mit einem Papierrande versieht und geschmolzenes Wachs oder Stearin darauf gießt. Dieser Abdruck wird nun ganz dünn mit Graphit überzogen und in einer Daniell'schen Kette als negative Polplatte benutzt, so hat sich nach einigen Tagen eine so dicke Kupferschicht aufgesetzt, daß man sie abnehmen kann.

Eine höchst wichtige Anwendung der Galvanoplastik ist die Vervielfältigung von Holzschnitten und gestochenen Kupferplatten, wodurch es möglich ist, eine große Menge Abdrücke von gleicher Schärfe herzustellen.

Um Metalle zu vergolden, zu versilbern u. dgl., befestigt man sie am negativen Poldrahte und taucht sie in eine Auflösung dieser Metalle.

d. Chlor-, Jod- und Brom-Metalle werden so zersetzt, daß sich das Metall am negativen, Chlor, Jod und Brom am positiven Pole ausscheidet. der Chlor-, Jod- und Brom-Metalle.

Sehr leicht zerlegbar ist Jodkalium. Ebenso Kochsalz; nur scheidet sich hier am negativen Pole nicht Natrium aus, sondern dieses verbindet sich mit dem Sauerstoff des Wassers und Wasserstoff entweicht.

2) Der galvanische Strom befördert auch chemische Verbindungen. Beförderung chemischer Verbindungen.

Ist z. B. der positive Verbindungsdraht ein leicht oxydirbares Metall, so verbindet es sich mit dem aus dem Wasser ausgeschiedenen Sauerstoff. Chemisch reines Zink wird in verdünnter Schwefelsäure gar nicht oder nur langsam aufgelöst, berührt man es aber mit einem Stück Silber, so oxydirt es.

Die merkwürdigen Beziehungen, in denen die chemischen und electrischen Kräfte zu einander stehen, haben zu folgender Theorie geführt:

Electrochemische Theorie von Davy und Berzelius.

§ 179. 1) So wie Kupfer und Zink durch gegenseitige Berührung electrisch werden, so werden die Atome je zweier Elemente, wenn sie sich berühren, entgegengesetzt electrisch, und die Anziehung der so erzeugten entgegengesetzten Electricität ist die Ursache der chemischen Verbindung. (Chemische Verwandtschaft ist hiernach die Neigung, entgegengesetzt electrisch zu werden.) § 179. Erklärung der chemischen Verwandtschaft.

Hieraus folgt nicht etwa, daß die chemische Verbindung electrisch sein muß; denn so wie bei Berührung einer Kupfer- und einer Zinkplatte der größte Theil der entstehenden Electricität gebunden bleibt, so auch bei der chemischen Verbindung. Und selbst wenn die Elemente der chemischen Mischung freie Electricität behielten, so könnte diese nicht merklich werden, weil jedes Atom der Mischung sowohl + E als — E enthielte.

Eben dieser electrische Zustand der Elemente einer chemischen Verbindung ist dann auch die Ursache, warum chemische Verbindungen durch die beiden Poldrähte der galvanischen Säule wieder getrennt werden.

Der positive Pol zieht das negative Element, der negative Pol das positive an.

2) Alle Elemente lassen sich in eine Reihe so ordnen, daß jedes folgende durch Berührung mit jedem vorangehenden positiv electrisch wird. Diese Reihe ist folgende: Spannungsreihe der Elemente.

—	Tantal,	Nickel,
+ Sauerstoff,	Titan,	Eisen,
Schwefel,	Silicium,	Cadmium,
Selen,	Osmium,	Zink,
Tellur,	Gold,	Wasserstoff,
Stickstoff,	Iridium,	Mangan,
Chlor,	Rhodium,	Zirconium,
Brom,	Platin,	Aluminium,
Jod,	Palladium,	Thorium,
Fluor,	Quecksilber,	Beryllium,
Phosphor,	Silber,	Magnesium,
Arsenik,	Kupfer,	Calcium,
Kohlenstoff,	Uran,	Strontium,
Chrom,	Wismuth,	Barium,
Molybdän,	Blei,	Lithium,
Bor,	Cerium,	Natrium,
Vanadin,	Lanthan,	× Kalium,
Wolfram,	Yttrium,	+
Antimon,	Kobalt,	

Die Stellung vieler Glieder dieser Reihe ist jedoch noch eine zweifelhafte, da man dieselbe nicht durch directe Versuche, sondern nur aus dem chemischen Verhalten der Stoffe ungefähr bestimmt hat.

Erklärung von Säure, Base.

3) Die zusammengesetzten Körper verhalten sich ähnlich zu einander, wie die Elemente. Diejenigen binären Verbindungen nun (Oxyde, Sulfüre, Chlorüre), welche sich durch negativ-electrische Eigenschaften charakterisiren, und fähig sind, Verbindungen einer höheren Ordnung einzugehen, werden Säuren genannt; diejenigen, welche bei diesen weiteren Verbindungen den electropositiven Theil bilden, Salzbasen. Je näher die Elemente einer Säure dem negativen Ende der Spannungsreihe stehen, eine desto stärkere Säure ist sie in der Regel.

Schwefelsäure ist im Allgemeinen die stärkste der Säuren.

Sauerstoff bildet mit den Elementen, welche an dem negativen Ende der Spannungsreihe stehen, Säuren, mit denen, welche am positiven Ende stehen, Basen.

Kali ist die stärkste Base.

Verbindet sich ein Körper in mehreren Verhältnissen mit Sauerstoff, so ist die Verbindung desto mehr electronegativ, sie hat desto mehr die Eigenschaften einer Säure, je mehr der Sauerstoff vorwaltet.

Z. B. 1 Atom Mangan + 3 Atome Sauerstoff = Mangansäure; 1 Atom Mangan + 1 Atom Sauerstoff = Manganoxyd.

§ 180. Verhältniß der Stromstärke zur chemischen Zersetzung.

§ 180. 1) Sowohl der durch die einfache galvanische Kette, wie der durch die galvanische Batterie und Säule erzeugte Strom ist, wie wir gesehen haben, von einer chemischen Zersetzung begleitet.

2) Die Stärke des electrischen Stromes ist, wie Faraday nachgewiesen hat, proportional der chemischen Zersetzung.

Wird z. B. in jeder Zelle eines galvanischen Apparates 2 oder 3mal so viel Zink aufgelöst, als in einem anderen Falle, so ist der Strom auch 2 oder 3mal so stark.

Anmerkung. Wir werden später ein Instrument kennen lernen, vermittelst dessen man die Stromstärke genau messen kann.

Hieraus scheint hervorzugehen, daß der galvanische Strom durch die chemische Zersetzung bedingt ist.

Auch aus Nr. 1 des vorigen Paragraphen folgt, daß der galvanische Strom durch die chemische Zersetzung wenigstens verstärkt wird.

Denn wenn durch die chemische Verbindung zweier Körper, indem sie sich berühren, Electricität erzeugt und gebunden wird, so muß bei der Trennung derselben diese gebundene Electricität wieder frei werden. Und da nun der electro-positive Bestandtheil vom positiven Pole durch die Säure zum negativen Pole geht, so trägt er seine positive Electricität in dieser Richtung fort und giebt sie daselbst ab; denn seine Electricität wird erst hier frei, weil hier erst seine Trennung von dem electronegativen Bestandtheile stattfindet; die durch die Zersetzung frei werdende Electricität kreist also in derselben Richtung durch den Apparat, in welcher die durch die metallische Berührung erzeugte Electricität kreist, muß also die letztere verstärken; z. B. in den einzelnen Zellen geht die + E vom Zink durch die Säure zum Kupfer; in derselben Richtung wandern auch bei der in den Zellen stattfindenden Wasserzersetzung die Wasserstofftheilchen mit ihrer + E.

3) Wird der Strom durch mehrere Zerlegungszellen geleitet, welche zerlegbare Körper enthalten, so verhalten sich die Quantitäten der durch den Strom ausgeschiedenen Elemente, wie die chemischen Aequivalente derselben.

Faraday zersetzte z. B. mittelst einer galvanischen Säule, welche aus Kupfer, chemisch reinem Zink und verdünnter Schwefelsäure construirt war, Wasser, und fand, daß für jeden Gewichtstheil Wasserstoff, welcher zwischen den Polplatten frei wurde, sich in jeder Zelle 65 Gewichtstheile Zink aufgelöst hatten. Auf jedes Aequivalent Wasserstoff, welches zwischen den Polplatten und also auch in jeder Zerlegungszelle entwickelt war, kam also in jeder Zelle ein Aequivalent Zink. Oder: Wenn vier Schälchen Wasser, Chlorsilber, Chlorblei und Chlorzinn enthalten (alle in flüssigem Zustande), und man leitet den electrischen Strom hindurch, indem man je zwei durch einen Platindraht verbindet, so verhalten sich die an den negativen Polen ausgeschiedenen Mengen Wasserstoff, Silber, Blei und Zinn wie 1 : 108 : 207 : 118 und an den positiven Polen Sauerstoff und Chlor wie 16 : 35,5, d. i. wie die chemischen Mischungsgewichte.

Daraus folgt, daß die chemischen Aequivalente diejenigen Gewichte der Stoffe bezeichnen, welche in Berührung mit ein und demselben Elemente gleich starke Electricität annehmen. Was ist chemisches Aequivalent?

Electromagnetismus.

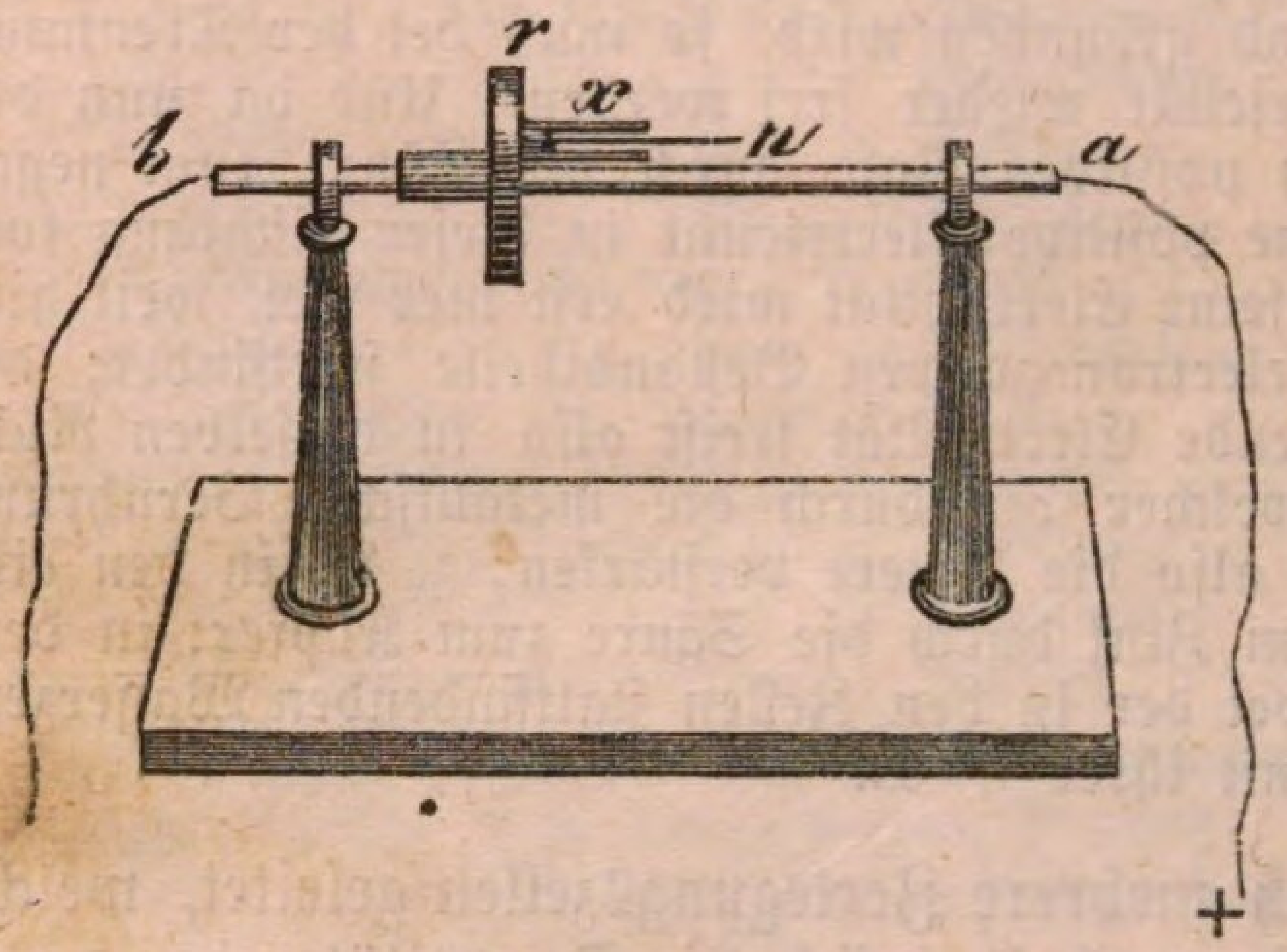
§ 181. **Wirkung des electrischen Stromes auf einen Magneten und auf weiches Eisen.** Im Jahre 1820 fand Oerstedt, Professor in Kopenhagen, daß ein Draht, durch welchen ein electrischer Strom geht, die Magnetnadel ablenkt (die ruhende Electricität wirkt nicht auf die Nadel); und kurz darauf entdeckte Arago, daß ein kupferner Leitungsdraht auch Eisenfeile anzieht. Der Leitungsdraht äußert also eine magnetische Kraft. Für diese hat man folgende Gesetze gefunden: § 181.

Ablenkung der Magnetnadel durch den electrischen Strom.

1) Wird ein Strom neben, über oder unter einer Magnetnadel vorbeigeführt, so wird diese so abgelenkt, daß sie sich senkrecht auf die Richtung des Stromes stellt, und zwar wird bei allen Stellungen der Nadel der eine Pol in gleichem Sinne abgelenkt.

Die Nadel stellt sich zwar nicht ganz senkrecht, aber doch desto genauer senkrecht, je stärker der Strom ist, weil der Erdmagnetismus sie in ihre ursprüngliche Lage zurückzuziehen strebt. Das Gesetz läßt sich vermittelst folgender Vorrichtung nachweisen:

Fig. 216.



(Fig. 216.) ab ist ein horizontal auf zwei Stäben ruhender isolirter Kupferstab, auf welchem eine Holzscheibe (r) steckt. Diese trägt eine Gabel (x), zwischen welcher eine Magnetnadel (n) sich bewegt. Stellt man nun ab in den magnetischen Meridian, so daß die Nadel ihm parallel steht, und man leitet einen electrischen Strom hindurch, so stellt sich die Nadel senkrecht auf den Strom und ihre Pole behalten dieselbe Richtung bei, wenn man sie mittelst der Holzscheibe rings um den Kupferstab herumdreht.

Die Erscheinung tritt auch ein, wenn ab nicht im magnetischen Meridian steht.

2) Die Richtung der Pole erhält man für jede Stellung der Nadel zum Leitungsdrahte nach Ampère auf folgende Weise:

Ampère'sche Regel.

Denkt man sich eine menschliche Figur so in den Draht eingeschaltet, daß der positive Strom von den Füßen nach dem Kopfe geht, und die Figur mit dem Gesicht nach der Nadel hingewendet ist, so hat sie den Nordpol zur Linken.

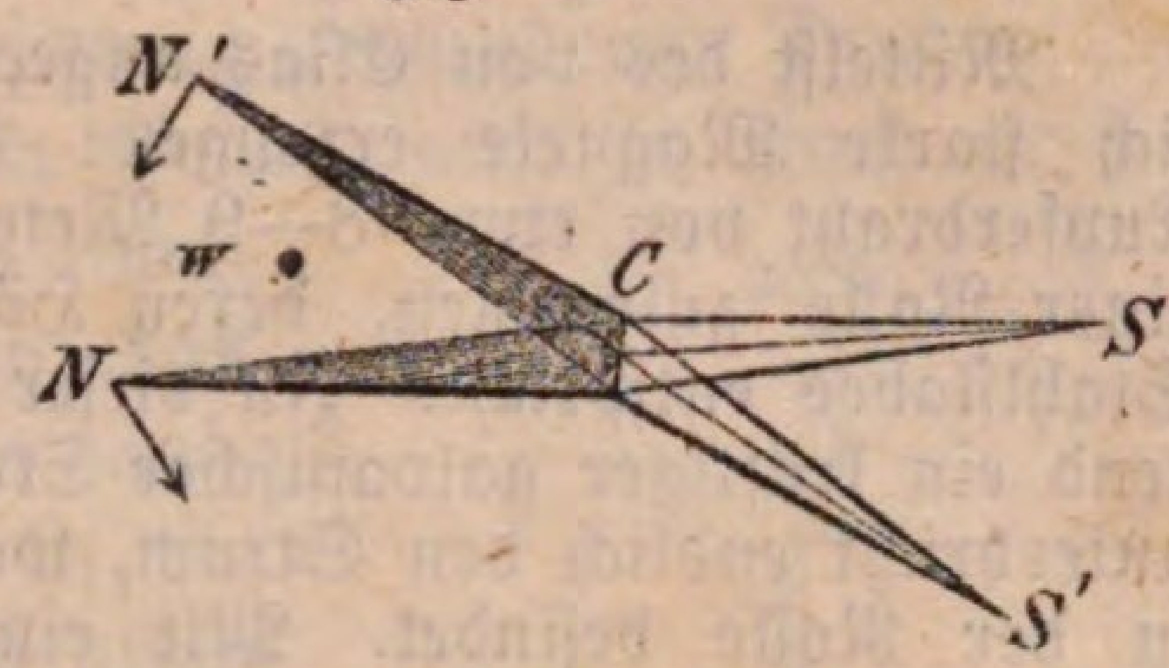
Hieraus folgt: Ein stromführender Draht wirkt so, als ob in der Richtung der Peripherie seiner Querschnitte unendlich viele kleine Magnete lägen, deren Südpole nach der Richtung hin liegen, nach welcher der Draht den Nordpol der Magnetnadel lenkt. Die Richtung ihrer Nordpole ist daher rechts um die Ampère'sche menschliche Figur herum.

Hiernach lassen sich nun die folgenden Erscheinungen erklären, wenn man erwägt, daß zwei parallel neben, über oder unter einander liegende Magnete einander anziehen oder abstoßen, je nachdem ihre Achsen entgegengesetzte oder gleiche Richtung haben, und daß ein Eisenstab, wenn man ihn parallel an einen Magneten legt, zu einem Magneten mit entgegengesetzten Polen wird.

1) Ein vertical bei einer Declinationsnadel vorbeigehender Strom zieht das Nordende derselben an, oder stößt es ab, je nachdem er auf der einen oder der andern Seite desselben vorbeigeht.

In Fig. 217 sei NS eine Declinationsnadel, N ihr Nordpol, w ein verticaler Leitungsdraht, in welchem der positive Strom von unten nach oben geht, so wird der Nordpol bei der Lage NS abgestoßen, in der Stellung N'S' angezogen; denn an der Seite des Drahtes w, welche der Magnetnadel bei der Stellung N'S' zugewendet ist, ist die magnetische Kraft desselben der der Nadel entgegengesetzt, während an der Seite, welche der Nadel in der Stellung NS zugewendet ist, die magnetische Kraft gleiche Richtung mit der der Nadel hat.

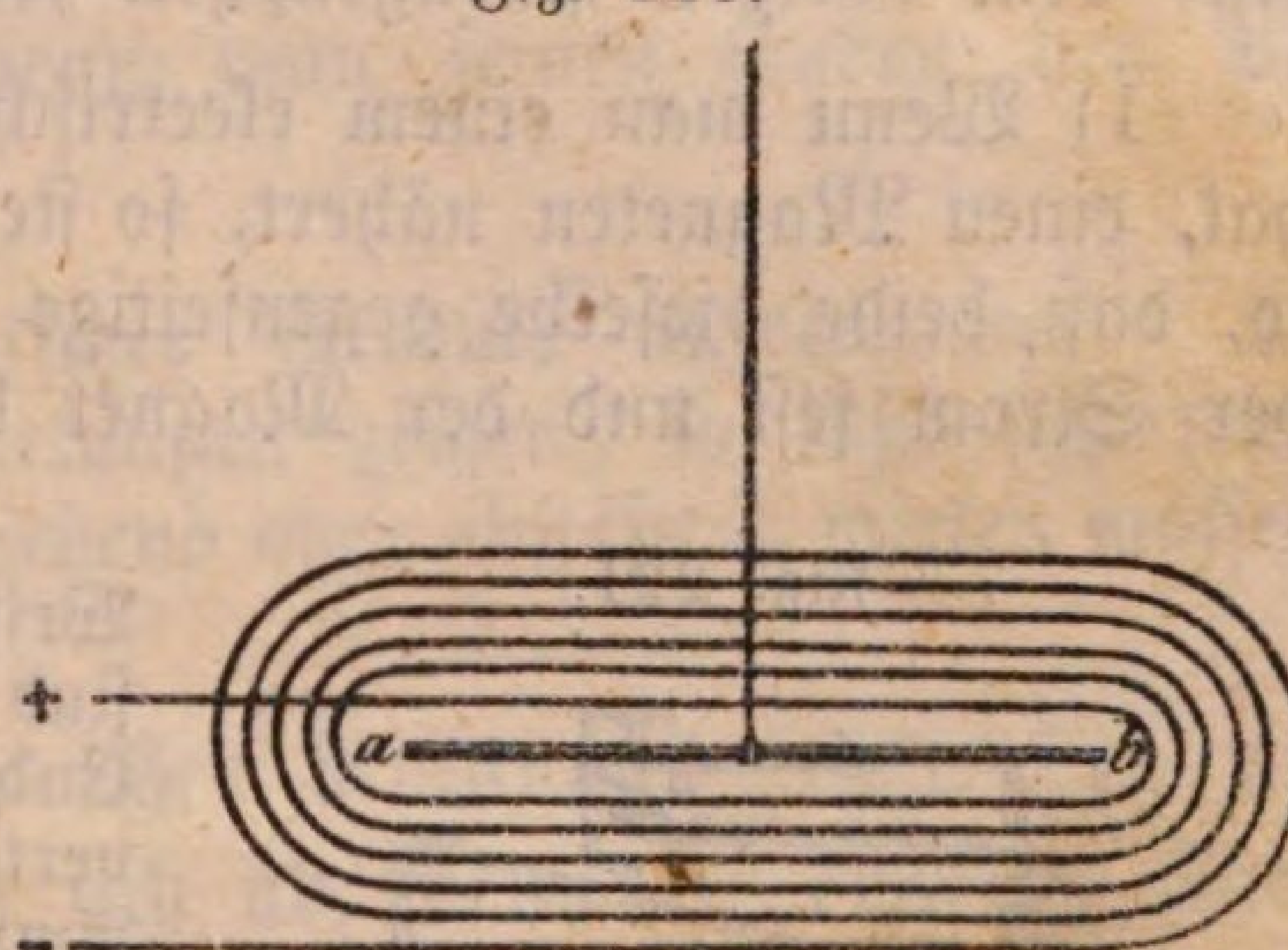
Fig. 217.



2) Die Wirkung des Stromes auf die Magnetnadel wird verstärkt, wenn man den Leitungsdraht in vielen Windungen über und unter der Nadel herumführt, wie Figur 218 zeigt. Schweigger's Multiplicator.

Denn jede einzelne Windung wirkt auf die Nadel, und die über der Nadel befindlichen Windungen lenken den Nordpol nach derselben Seite hin, wie die unter ihr befindlichen.

Fig. 218.

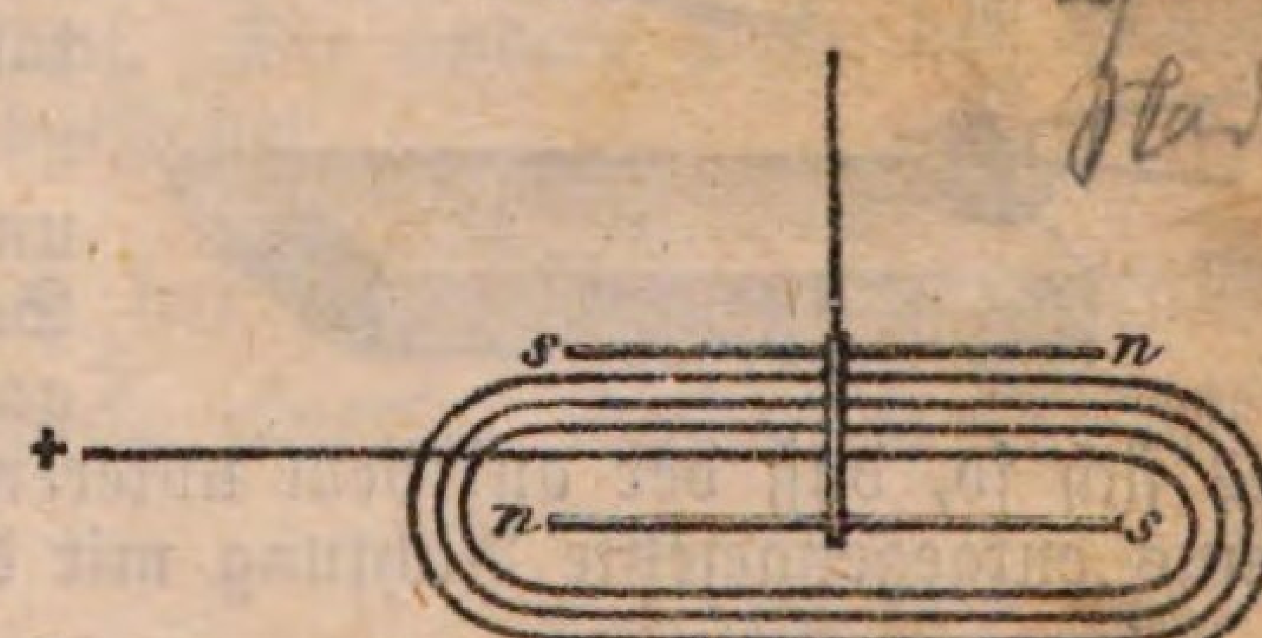


Eine solche Vorrichtung heißt **Multiplicator** oder **Galvanometer**, und dient dazu, das Vorhandensein sehr schwacher galvanischer Ströme nachzuweisen.

Von Schweigger und Poggendorf 1820 erfunden.

Bei weitem empfindlicher ist der Apparat, wenn zwei Magnetnadeln (Fig. 219) von gleicher magnetischer Kraft so mit einander verbunden sind, daß die gleichnamigen Pole entgegengesetzte Richtung haben, und die eine Nadel zwischen, die andere über den Windungen sich befindet.

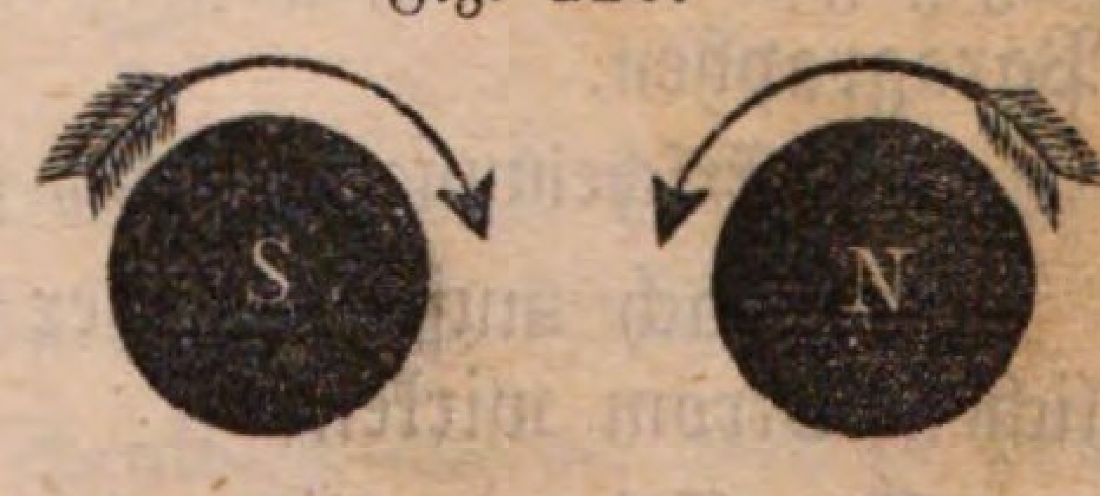
Fig. 219.



Denn die Wirkung des Erdmagnetismus auf diese Nadeln ist fast ganz aufgehoben, und zwar desto mehr, je näher die magnetische Kraft der Nadeln einander gleich ist.

3) Windet man einen Kupferdraht isolirt auf einen Stab von weichem Eisen und führt einen electrischen Strom durch ersteren, so wird der Stab magnetisch, und zwar ist die Lage der Pole, wie sie Fig. 220 angiebt. Der galvanische Strom macht Eisen zum Magneten.

Fig. 220.



Der Magnetismus des Stabes verschwindet, sobald der electrische Strom aufhört. Ein Stahlstab behält den Magnetismus.

Erklärung. Ein durch einen electrischen Strom magnetisch gemachter Stab von weichem Eisen heißt **Electromagnet**. Electromagnet.

Anstatt den Draht isolirt um das Eisen zu winden, kann man auch einen mit Seide umsponnenen Draht auf einen hohlen Holzcylinder wickeln und den Eisenstab in die Höhlung desselben legen.

Mittelst des von Elias angegebenen Verfahrens lassen sich außerordentlich starke Magnete erzeugen: Man windet nämlich einen übersponnenen Kupferdraht von etwa 8—9 Meter Länge und 3 Millimeter Durchmesser zu einer Rolle zusammen, deren Höhlung der Stärke des zu magnetisirenden Stahlstabes entspricht. In dieser Höhlung schiebt man den Stahlstab, während ein kräftiger galvanischer Strom in dem Drahte kreist, hin und her, und unterbricht endlich den Strom, wenn der Stab mit dem mittleren Theile sich in der Rolle befindet. Mit einem hufeisenförmigen Stabe kann man in gleicher Weise verfahren; dabei ist es gut, während der Operation einen Anker von weichem Eisen anzulegen.

§ 182.

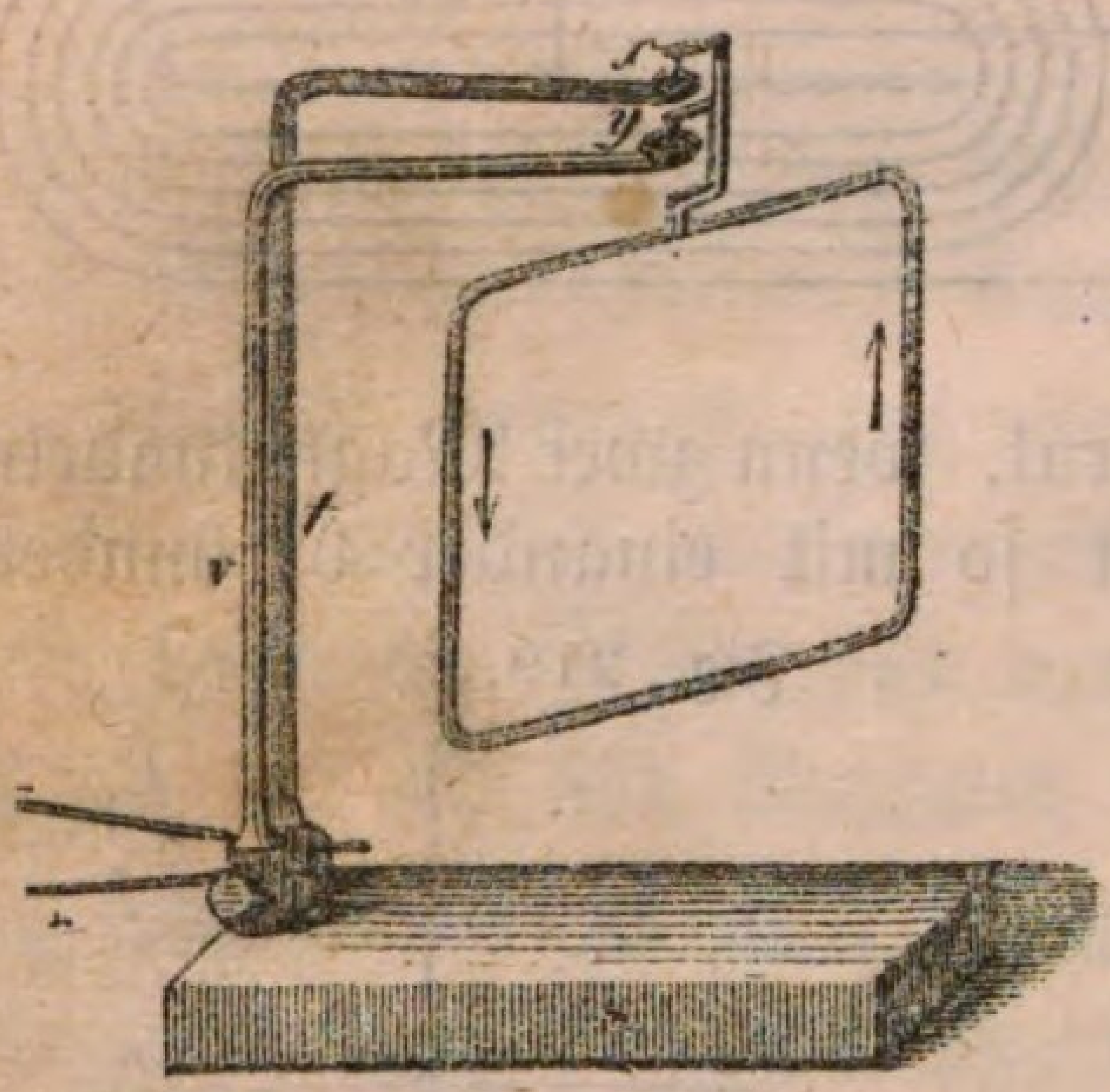
§ 182. Wirkung eines Magneten auf einen electrischen Strom.

Aus dem vorigen Paragraphen folgt von selbst:

Richtung eines Stromes durch einen Magneten.

1) Wenn man einem electrischen Strome, welcher freie Bewegung hat, einen Magneten nähert, so stellt sich der Strom gegen den Magnet so, daß beide dieselbe gegenseitige Lage haben, wie in dem Falle, wo der Strom fest und der Magnet beweglich ist.

Fig. 221.



Einem Strome kann man auf folgende Weise freie Bewegung geben: In Fig. 221 sind v und t zwei Kupferstäbe, an deren Enden zwei Quecksilbernäpfchen x und y genau vertical unter einander befestigt sind (das Ampère'sche Gestell. In einem dieser Quecksilbernäpfchen ruht auf einer Stahlspitze ein zu einem Viereck gebogener Leitungsdraht, während die an dem andern Ende des Leitungsdrahtes angebrachte Spitze blos in das Quecksilber des andern Näpfchens eintaucht.

Hält man nun einen Magnetstab so unter das Viereck, daß er parallel der unteren Seite desselben liegt, und führt dann einen galvanischen Strom durch letzteres, so stellt es sich so, daß der auf dem unteren Rande des Drahtes wirksame Magnetismus entgegengesetzte Richtung mit dem Magneten hat.

2) Ein verticaler Strom wird von dem Pole eines horizontal gehaltenen Magneten bald angezogen, bald abgestoßen, je nachdem man diesen auf die eine oder die andere Seite des Stromes hält. Ob er angezogen oder abgestoßen wird, ergiebt sich ebenfalls aus dem vorigen Paragraphen.

Die Erscheinung läßt sich an demselben Apparate nachweisen.

Wirkung des Erdmagnetismus auf einen beweglichen Strom.

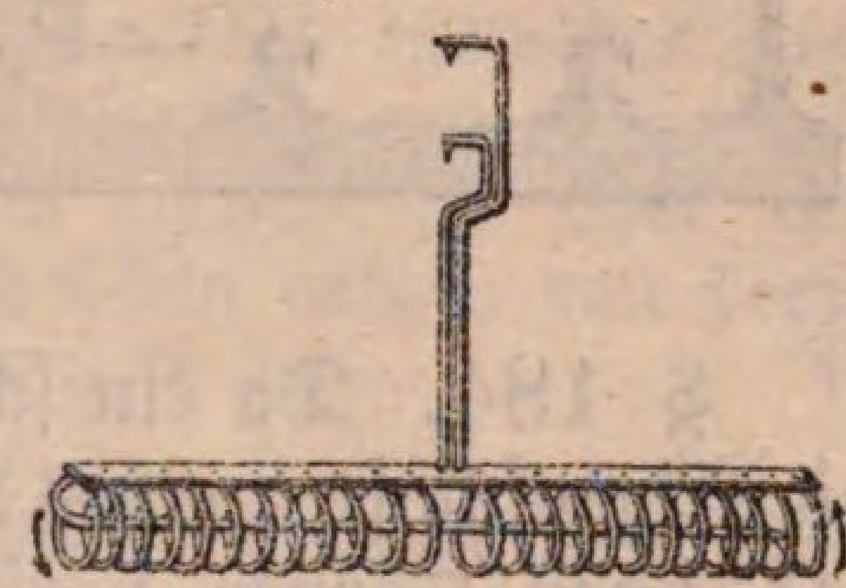
Hiernach muß auch der Erdmagnetismus richtend auf einen beweglichen Strom wirken.

Der Erdmagnetismus wirkt auf den Strom als ein unter demselben, in dem magnetischen Meridiane, mit dem Südpol nach Norden liegender Magnet.

Das Viereck (Fig. 221) stellt sich also senkrecht auf den magnetischen Meridian, und zwar die Seite desselben, in welcher der positive Strom aufsteigt, nach Westen.

Hängt man demnach einen schraubenförmig gewundenen Draht [Solenoid] (Fig. 222) an dem Ampère'schen Gestell auf, so muß er sich wie eine Magnetnadel in die Ebene des magnetischen Meridians stellen, und zwar so, daß die Windungen, in welchen der Strom aufsteigt, nach Westen gerichtet sind. Ein in die Höhlung der Windungen gelegter Eisenstab würde nach dem vorigen Paragraphen durch den Strom an dem nach Norden gewandten Ende nordmagnetisch werden.

Fig. 222.



Ein solcher Schraubendraht zeigt auch dieselbe Anziehung und Abstoßung wie eine Magnetnadel, wenn man seinen Enden den Pol eines Magneten nähert.

§ 183. Wirkungen galvanischer Ströme aufeinander. Da galvanische Ströme magnetische Wirkungen zeigen, so läßt sich leicht vermuthen, daß sie auf einander anziehend oder abstoßend wirken müssen. Die Erfahrung lehrt: § 183.

1) Parallele Ströme von gleicher Richtung ziehen sich an, solche von entgegengesetzter stoßen sich ab, denn im ersteren Falle sind die einander zugewandten Seiten entgegengesetzt, im zweiten Falle gleichnamig magnetisch (nach § 181). Wirkung paralleler Ströme auf einander.

Das Gesetz läßt sich an dem Apparate Fig. 221 zeigen. Nähert man der Seite des Vierecks, in welchem der Strom aufsteigt, einen andern aufsteigenden Strom, so findet Anziehung statt. Die andere Seite des Vierecks wird von einem aufsteigenden Strome abgestoßen.

2) Gekreuzte Ströme stellen sich bei freier Bewegung parallel, und zwar so, daß sie sich dann nach einerlei Richtung bewegen, oder was dasselbe ist: Wirkung gekreuzter Ströme auf einander.

Die Theile des Leitungsdrahtes, in welchen sich der Strom zugleich nach dem Kreuzungspunkte hin oder zugleich von demselben ab bewegt, ziehen sich an; diejenigen, in welchen die Bewegung des Stromes in Beziehung auf den Kreuzungspunkt entgegengesetzt ist, stoßen sich ab. (Ergiebt sich ebenfalls aus § 181.)

Fig. 223.

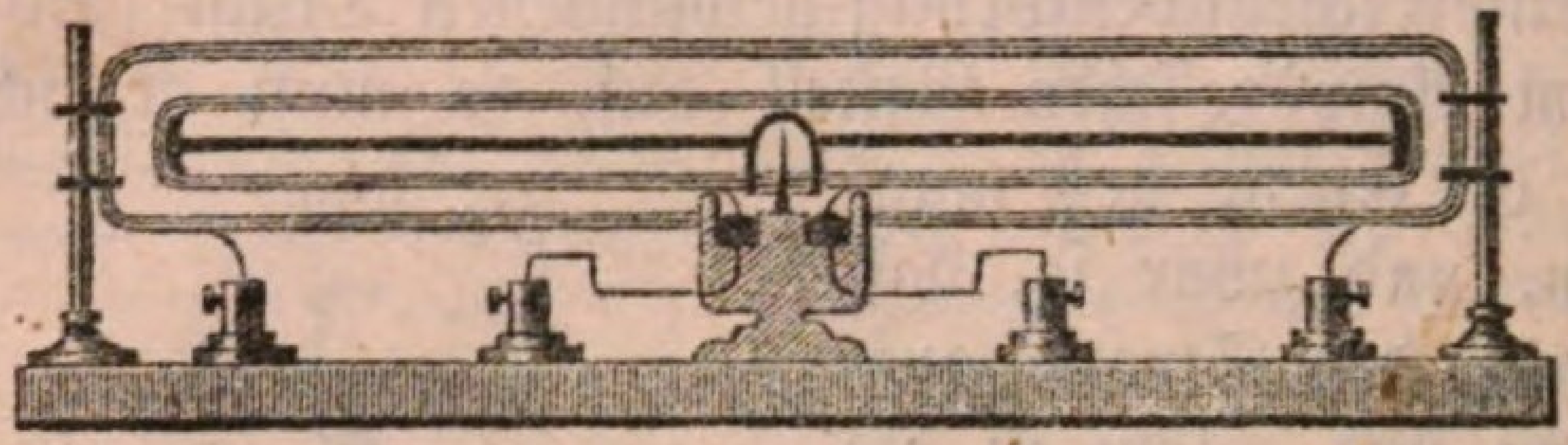


In Fig. 223 ziehen sich rb und rd an, ebenso cr und ar, aber es stoßen sich cr und rb, ar und rd ab.

Die Erscheinung läßt sich an folgendem Apparate zeigen (Fig. 224): Durch ein längliches Viereck, welches durch mehrere Windungen von über-

sponnenem Drahte gebildet wird und an zwei Stäben befestigt ist, wird ein galvanischer Strom geleitet. Zwischen diesem bewegt sich ein eben solches Viereck auf einer Spitze, ähnlich wie eine Magnetnadel, dessen Drahtenden in zwei mit Quecksilber gefüllte kreisförmige Rinnen tauchen, welche mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung stehen.

Fig. 224.



§ 184. Der Magnet wirkt wie ein spiralförmiger Strom.

§ 184. Da ein schraubenförmig gewundener Strom (das Solenoid) die Eigenschaften eines Magneten besitzt, so kann man sich jeden Magneten als einen Körper vorstellen, welcher von einem galvanischen Strome umkreist wird, dessen Richtung man nach der Ampère'schen Regel findet.

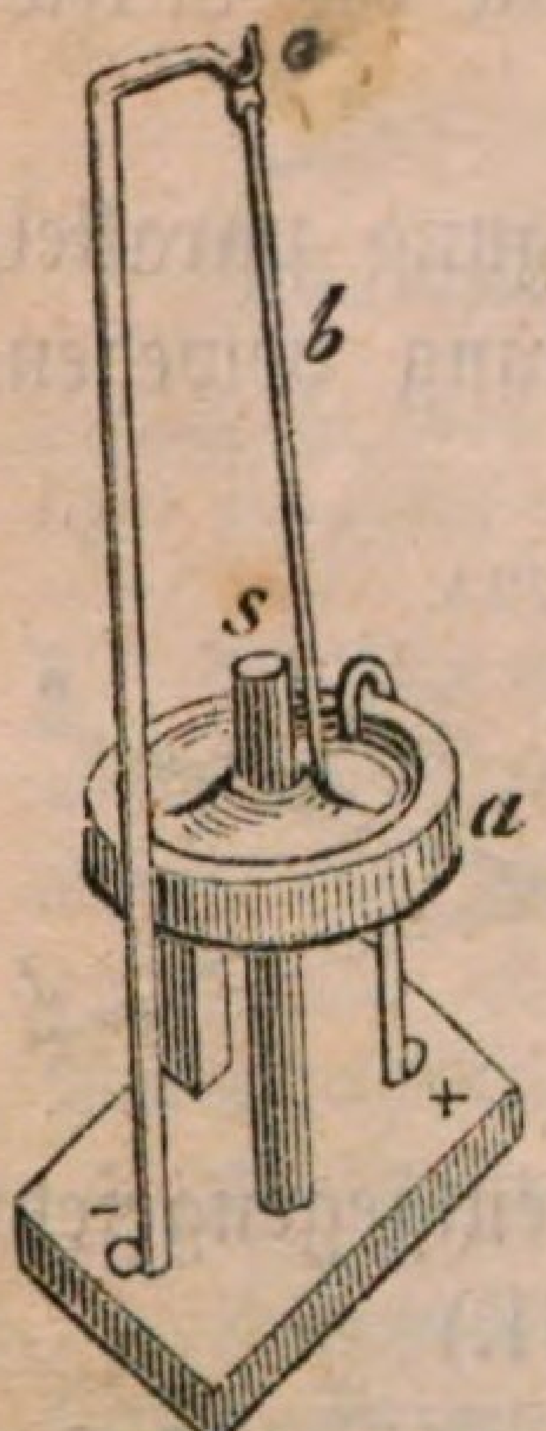
Hält man nämlich den Magneten horizontal so vor sich hin, daß man den Nordpol zur Linken hat, so ist der Strom auf der Seite des Magneten, auf welcher man steht, aufsteigend.

Nach dieser Ansicht ziehen sich die entgegengesetzten Pole eines Magneten, gegen einander gehalten, an, weil der Strom an ihnen gleiche Richtung hat; die gleichnamigen stoßen sich ab, weil der Strom, wenn man sie gegen einander hält, entgegengesetzte Richtung hat.

Auch läßt sich nach derselben leicht erklären, warum man durch Zerbrechen eines Magneten an der Bruchstelle einen Süd- und einen Nordpol erhält.

Ferner kann man sich den Erdmagnetismus als Wirkung eines um die Erde kreisenden electrischen Stromes denken, welcher, da der magnetische Südpol im Norden liegt, die Erde von Osten nach Westen umströmt. Ebenso ergeben sich aus der obigen Betrachtungsweise die folgenden Rotations-Erscheinungen.

Fig. 225.



§ 185. Rotation beweglicher Magnete und Ströme.

§ 185. Rotation beweglicher Magnete und Ströme. Wenn sich ein galvanischer Strom und der um einen Magneten fingirte Strom kreuzen, und einer derselben ist fest, der andere aber beweglich, so läßt sich durch eine entsprechende Anordnung eine Rotation des beweglichen Stromes um den festen hervorbringen.

Einer von den vielen zu diesem Zwecke construirten Apparaten ist folgender:

a (Fig. 225) ist ein kreisrundes, hölzernes, mit Quecksilber gefülltes Näpfchen, in dessen Mitte vertical ein Magnet (s) steckt, b ist ein Kupferdraht, welcher in dem Haken c senkrecht über dem Magneten hängt und mit einer Platinspitze in das Quecksilber taucht. Leitet man nun einen galvanischen Strom durch b, indem man den positiven Poldraht mit dem Quecksilber, den negativen mit dem Haken c in Verbindung setzt, so rotirt der Draht b um den Magneten, und zwar,

wenn der Südpol desselben oben steht, in der Richtung von Süd nach Ost, Nord, West.

Der um den Magneten kreisende Strom bewegt sich, da der Südpol oben steht, nach der Ampère'schen Regel von Süd nach West, Nord, Ost; der durch den Draht b geleitete Strom steigt von unten nach oben. Die beiden Ströme kreuzen sich also und haben daher nach § 182, 2 das Bestreben, sich parallel nach einerlei Richtung zu stellen. Steht demnach der Draht b südwärts vom Magneten, so hat er das Bestreben, sich horizontal zu stellen, und zwar mit dem oberen Ende nach Westen, mit dem unteren nach Osten. Da aber der Draht oben festgehalten wird, so muß die Spitze nach Osten gehen, von dort, wie sich auf dieselbe Weise folgern läßt, nach Norden u. s. w.

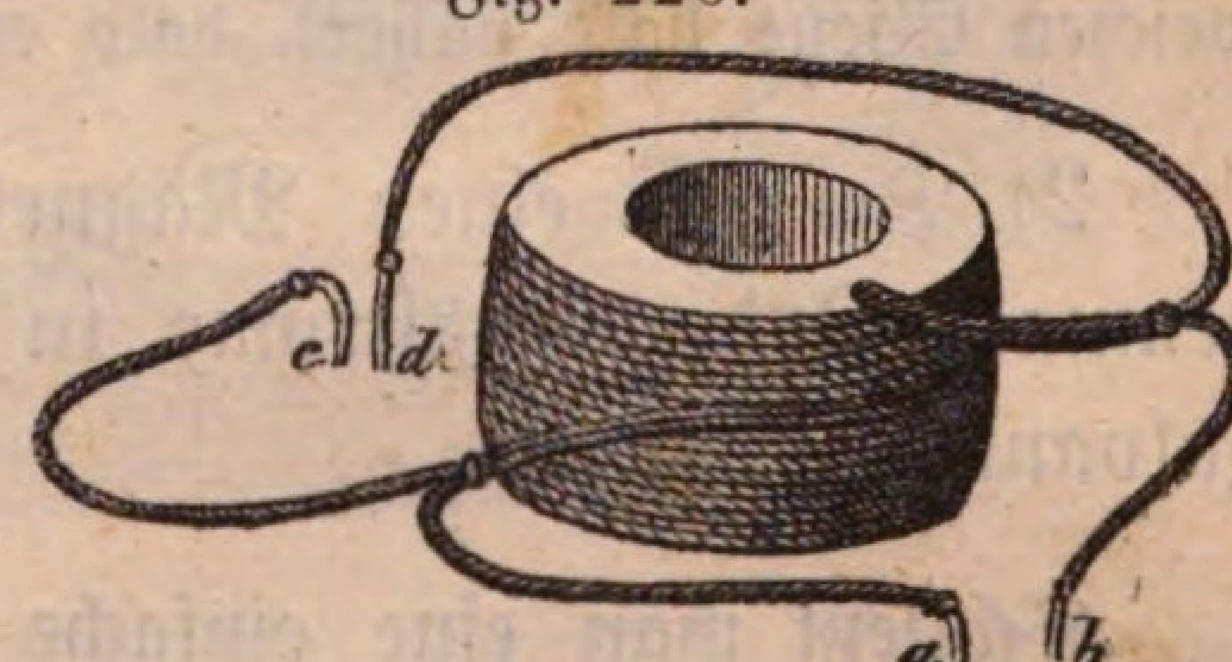
In einem Apparate, in welchem der galvanische Strom fest, der Magnet beweglich ist, rotirt der letztere um ersteren.

Inductions-Erscheinungen.

§ 186. In ähnlicher Weise, wie ein Magnet im Eisen Magnetismus, ein electrischer Körper in andern Körpern Electricität erregt, so erregt auch ein electrischer Strom in einem benachbarten Leiter einen electrischen Strom.

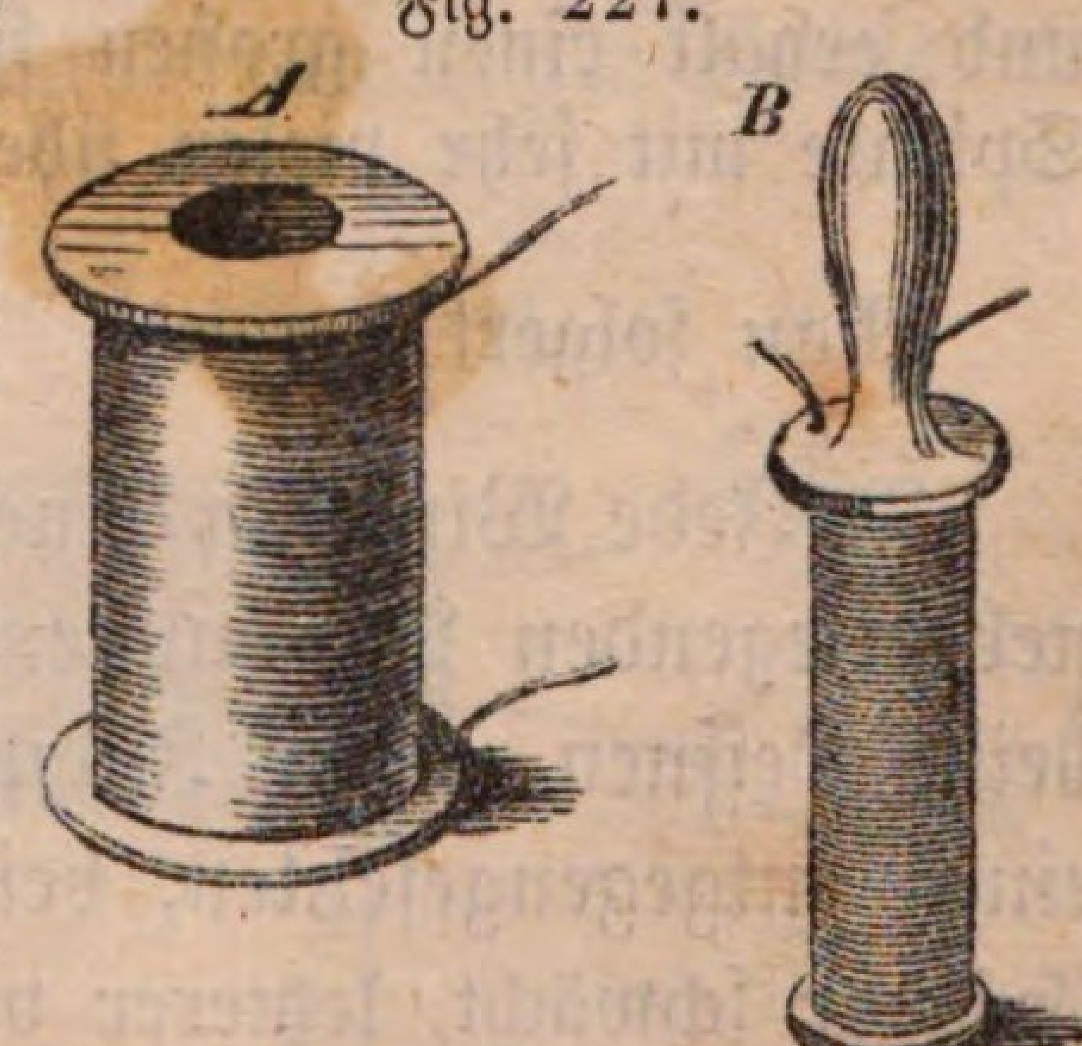
§ 186. Ein Inductionsstrom wird erzeugt: 1) durch einen Leitungsdraht in einem andern geschlossenen Drahte;

Fig. 226.



Sind auf eine Holzspule (Fig. 226) zwei mit Seide (von verschiedener Farbe) umsponnene Drähte ab und cd aufgewickelt, und man verbindet a und b mit den beiden Enden eines Multiplicators, so zeigt in dem Augenblicke, in welchem man c und d mit den Polen einer galvanischen Kette verbindet, die Nadel des Multiplicators einen entgegengesetzten, in dem Augenblicke, in welchem man den Hauptstrom unterbricht, einen gleichen Strom in dem Drahte ab an, kehrt aber jedesmal gleich wieder in ihre natürliche Lage zurück.

Fig. 227.



Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn die beiden Drähte auf verschiedene Cylinder A und B (Fig. 227) aufgewickelt sind, und man den einen B in die Höhlung des andern A steckt. Wenn der eine Draht ununterbrochen mit den Polen einer galvanischen Kette in Verbindung bleibt, so bringt das Hineinstecken dieselbe Wirkung hervor, wie im vorigen Versuche das Schließen des Hauptstromes, das Herausziehen dieselbe, wie das Unterbrechen desselben.

1) Ein galvanischer Strom erzeugt demnach in einem neben ihm liegenden geschlossenen Drahte im Augenblicke seines Entstehens einen ihm entgegengesetzten, im Augenblicke seines Aufhörens einen gleichen Strom.

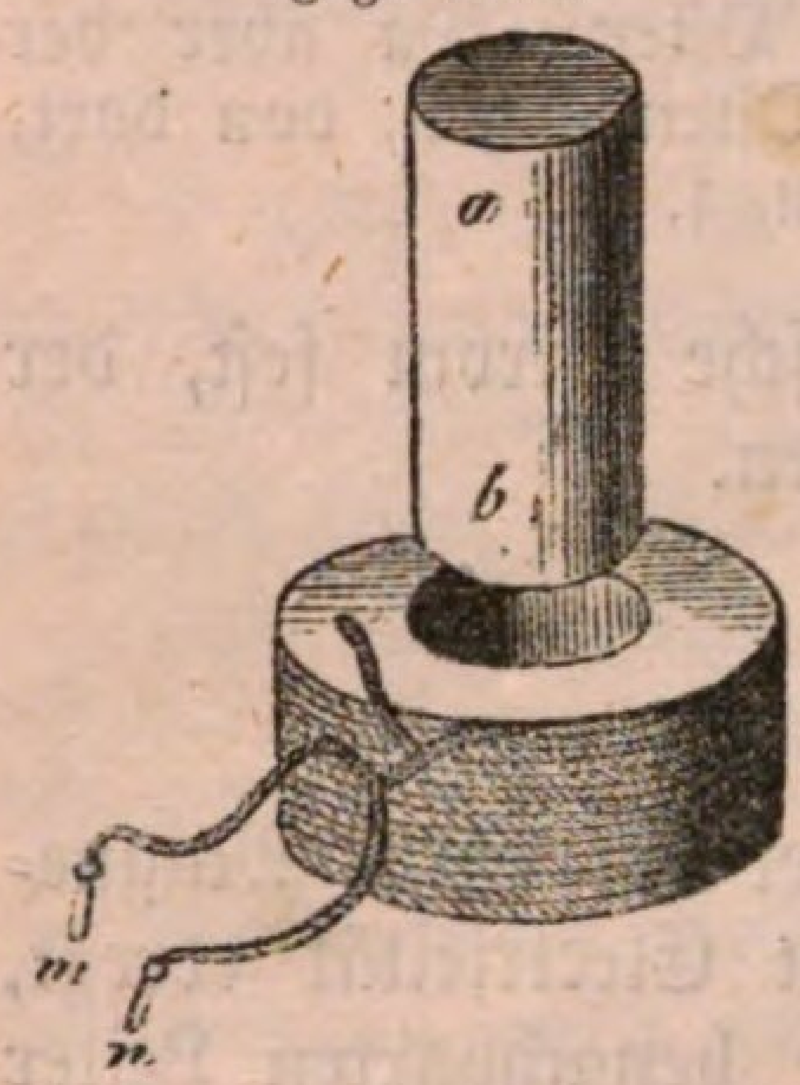
Aber die so erzeugten Ströme dauern nur einen Augenblick. Sie heißen inducirte Ströme.

2) durch einen Magneten in einem geschlossenen Drahte;

Auch der um einen Magneten kreisende fingirte Strom erzeugt Inductionsströme.

Denn verbindet man die beiden Enden einer Drahtspirale m und n (Fig. 228) mit den Drahtenden eines Galvanometers, und man schiebt einen Magnetstab ab in die Höhlung der ersteren, so zeigt die Nadel des Galvanometers beim Hineinschieben des Magneten einen Inductionsstrom an, welcher mit dem um den Magneten kreisenden fingirten Strome entgegengesetzte Richtung hat, kehrt aber sogleich wieder in ihre natürliche Lage zurück. Sobald man den Magneten herausnimmt, weicht die Magnetnadel nach der andern Seite ab.

Fig. 228.



Dieselbe Erscheinung tritt ein, wenn man einen hufeisenförmigen Stab weichen Eisens mit einer Spirale umgiebt, deren Enden mit einem Galvanometer verbindet, und in dem Eisen Magnetismus bald hervorruft, bald wieder verschwinden läßt, indem man die Pole eines Hufeisenmagneten den Enden des weichen Eisens bald nähert, bald entfernt.

2) Der um einen Magneten kreisende fingirte Strom erzeugt demnach Inductionsströme in derselben Weise, wie jeder andere galvanische Strom.

3) durch einen Leitungsdraht in seinen eigenen Windungen;

Schließt man eine einfache Kette durch einen kurzen Draht und öffnet sie dann wieder, so erhält man einen schwachen Funken, und merkt, wenn man dabei in jeder Hand eines der beiden Enden des Verbindungsdrahtes hält, keinen Schlag. Man fühlt aber einen solchen, und erhält einen großen Funken, wenn der Verbindungsdraht eine Spirale mit sehr vielen übereinander liegenden Windungen ist.

Man folgert daraus:

3) Jede Windung einer stromführenden Spirale erzeugt in den nebenliegenden Windungen derselben Spirale beim Schließen und beim Oeffnen einen Inductionsstrom, und zwar beim Schließen einen entgegengesetzten, beim Oeffnen einen gleichgerichteten Strom. Ersterer schwächt, letzterer verstärkt die Wirkung des Hauptstromes.

Daher erhält man nur beim Oeffnen, nicht beim Schließen der Kette einen Schlag.

Die auf diese Weise erzeugten Inductionsströme heißen Extraströme.

Die Wirkung wird noch größer, wenn man in die Höhlung der Spirale einen Eisenstab, oder noch besser, ein Bündel dünner Eisenstäbe steckt.

4) durch einen Electromagneten in dem ihn erzeugenden Leitungsdrahte.

Daraus schließt man:

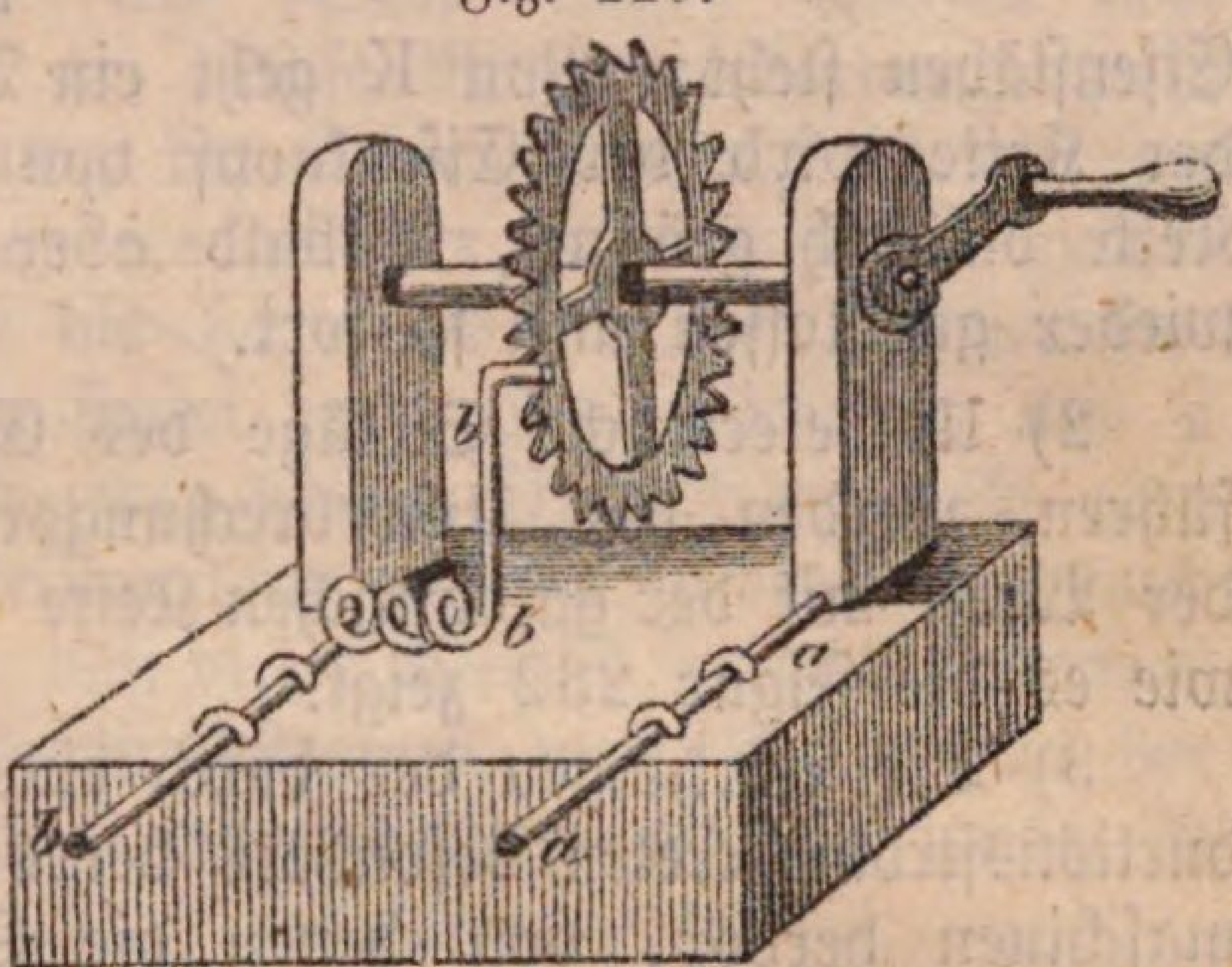
4) Jeder Electromagnet wirkt auf die seinen Magnetismus erzeugende Spirale im Momente des Schließens und Oeffnens der letzteren inducirend auf diese.

Die inducirten Ströme entdeckte Faraday (1831).

§ 187. **Wirkungen der Inductionsströme.** Die inducirten Ströme zeigen alle Wirkungen der gewöhnlichen galvanischen Ströme.

§ 187. Wirkungen der Inductionsströme.

Fig. 229.

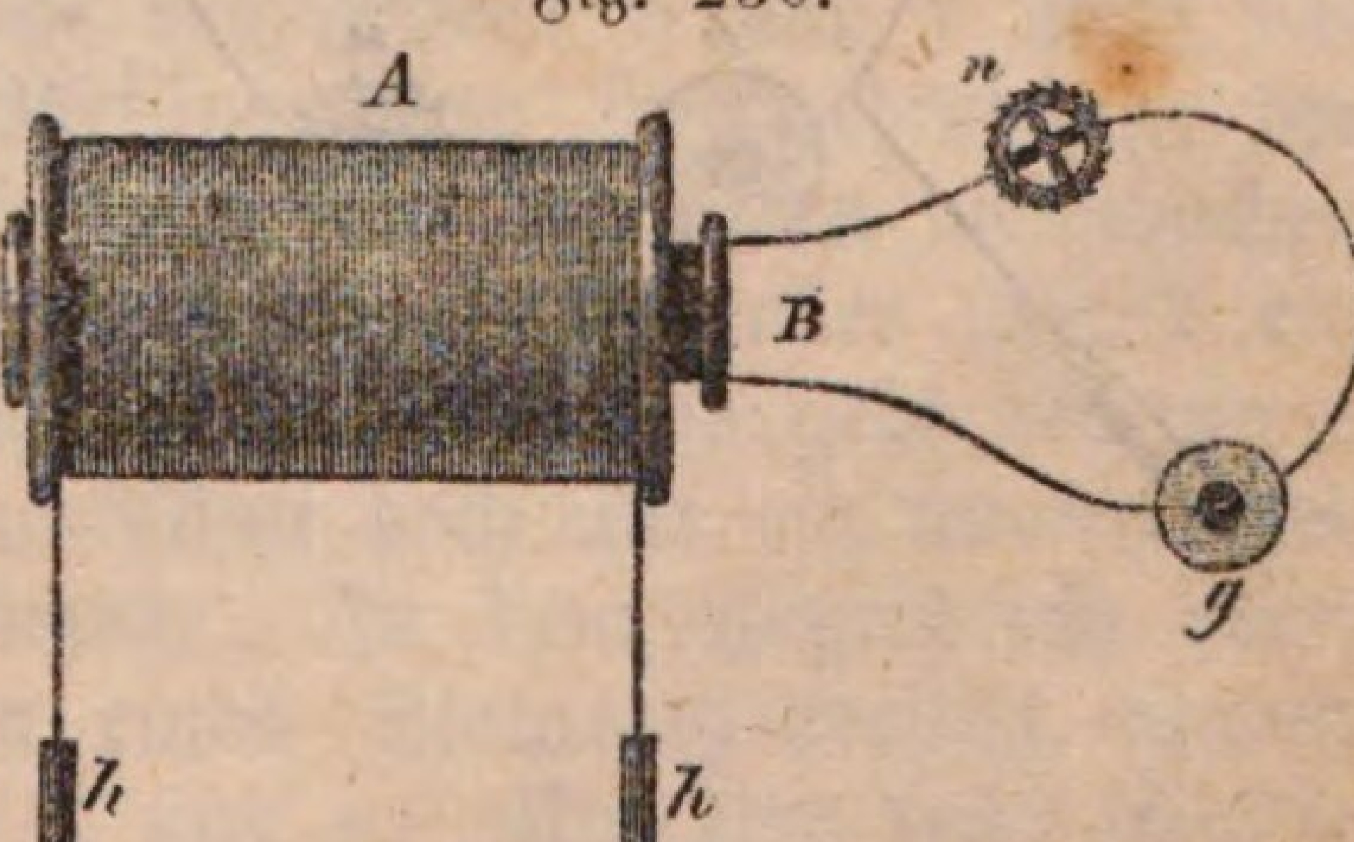


Sehr starke physiologische Wirkungen werden hervorgebracht, wenn man den Hauptstrom schnell hinter einander schließt und unterbricht, also den inducirten Strom recht oft entstehen läßt.

Ein solches schnell abwechselndes Unterbrechen und Schließen läßt sich durch das sogenannte Unterbrechungsrad bewerkstelligen: Das Rad (Fig. 229), seine Achse und die Pfeiler, auf denen diese ruht, sind von Messing. Der Draht b federt gegen das Rad, der Draht a steht mit dem einen Messingpfeiler in Verbindung. Schaltet man nun das Rad vermittelst der Drähte a und b in den Schließungsdraht eines galvanischen Apparates ein, so wird der Strom so oft unterbrochen, als der Draht b von einem Zahne auf den andern übergeht.

Wirkungen des durch einen Leitungsdraht erzeugten Inductionsstromes.

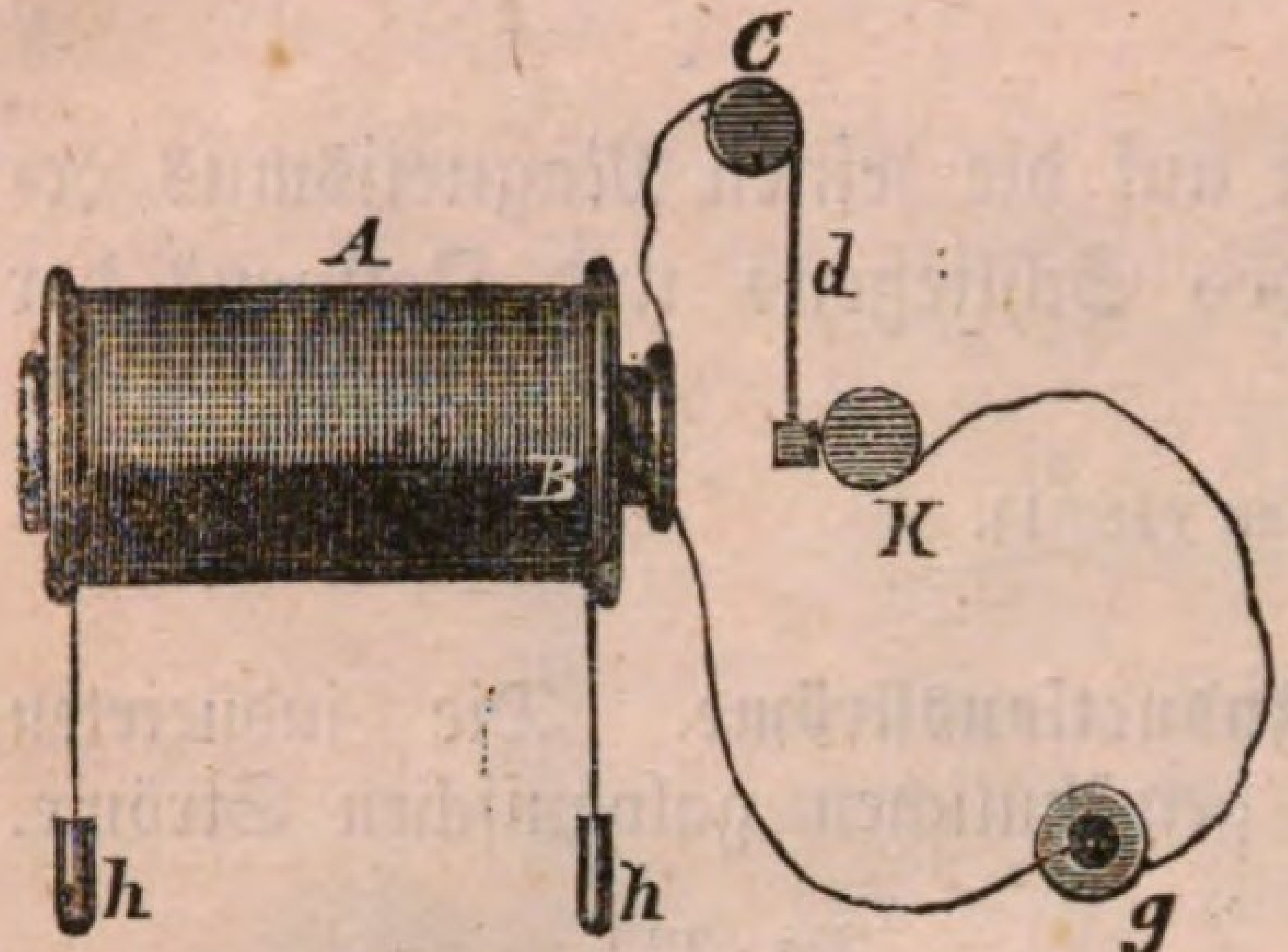
Fig. 230.



1) Um die Wirkungen der durch einen galvanischen Strom in einer nebenliegenden Spirale erzeugten Inductionsströme zu zeigen, steckt man die Spirale B (Fig. 227) in die Spirale A, verbindet die Enden der ersteren mit einer galvanischen Kette und schaltet das Unterbrechungsrad in den Schließungsdraht derselben so ein, wie es die Figur 230 zeigt, wo g die Kette, n das Unterbrechungsrad bezeichnet. Faßt man nun die beiden Metallcylinder hh mit den Händen, so geht der Inductionsstrom durch den Körper.

Der hier beschriebene Apparat wird vielfach von den Aerzten benutzt, um durch die Inductionsströme Rheumatismus und andere Uebel zu heilen. Dabei ist aber das Unterbrechungsrad durch eine Vorrichtung ersetzt, welche Figur 231 zeigt. Das eine Drahtende der Spirale B ist nämlich nach einem Messingsäulchen c geführt, welches einen federnden Metallstreifen d trägt. Am Ende des letzteren befindet sich ein eiserner Knopf, welcher in der Ruhelage an einem zweiten Messingsäulchen K anliegt und dicht vor den in B befindlichen Eisenstäben steht. Von K geht ein Draht nach g. Durch Schließung der Kette wird der Eisenknopf von den Eisenstäben angezogen, die Kette dadurch geöffnet, alsbald aber durch das Zurückschnellen an K wieder geschlossen und so fort.

Fig. 231.



Wirkungen des Extrastromes.

2) Um electrische Schläge des Extrastromes durch den Körper zu führen, werden das Unterbrechungsrad u und die Metallcylinder in der Weise mit der galvanischen Kette h und der Spirale S verbunden, wie es die Figur 232 zeigt.

Wirkungen des durch einen Magneten erzeugten Inductionsstromes.

3) Die Wirkungen der durch einen Magneten hervorgerufenen Inductionsströme treten besonders bei den magneto-electrischen Rotationsmaschinen hervor, von denen die Stöhrer'sche im Wesentlichen auf folgende Weise zusammengesetzt ist.

Fig. 232.

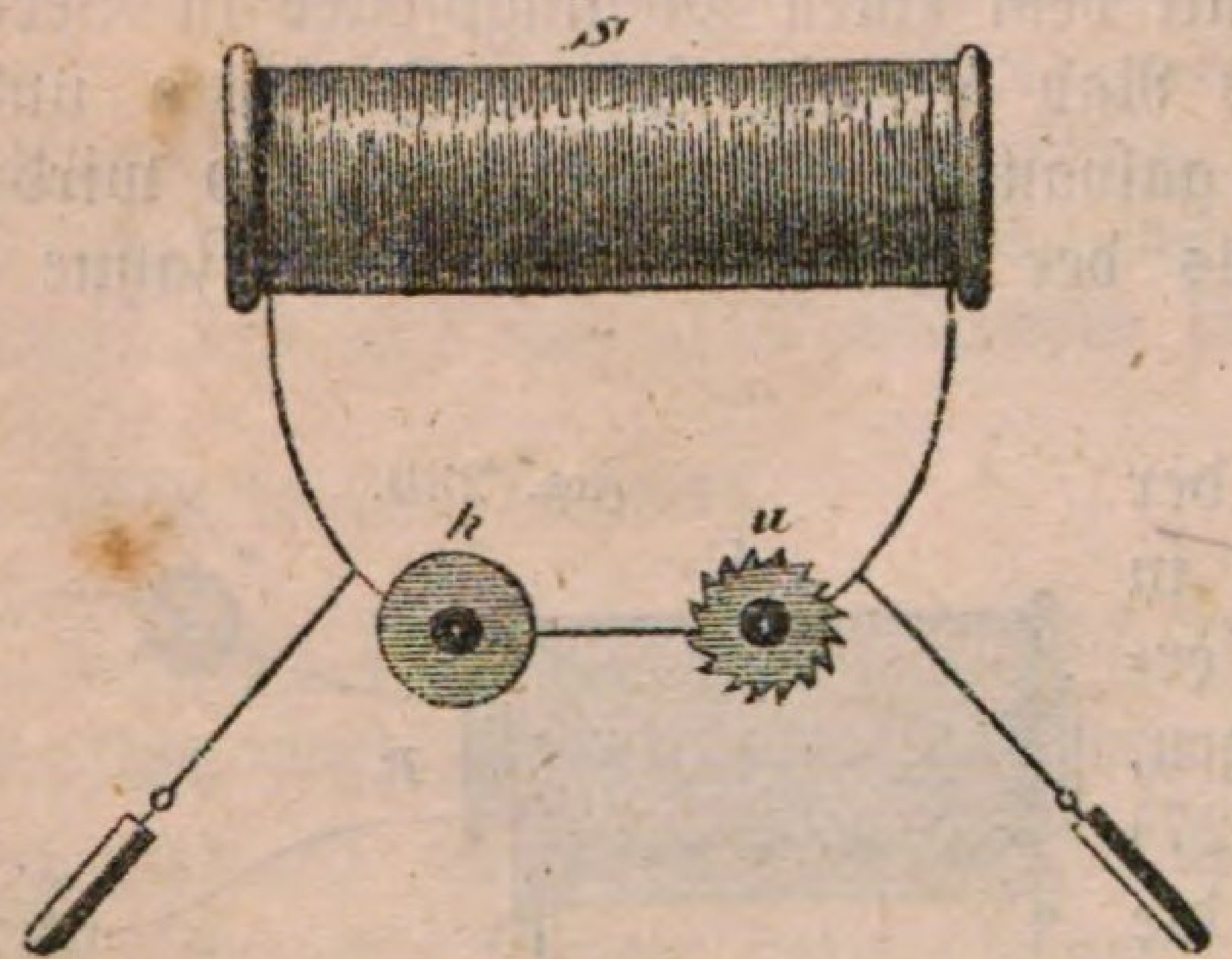
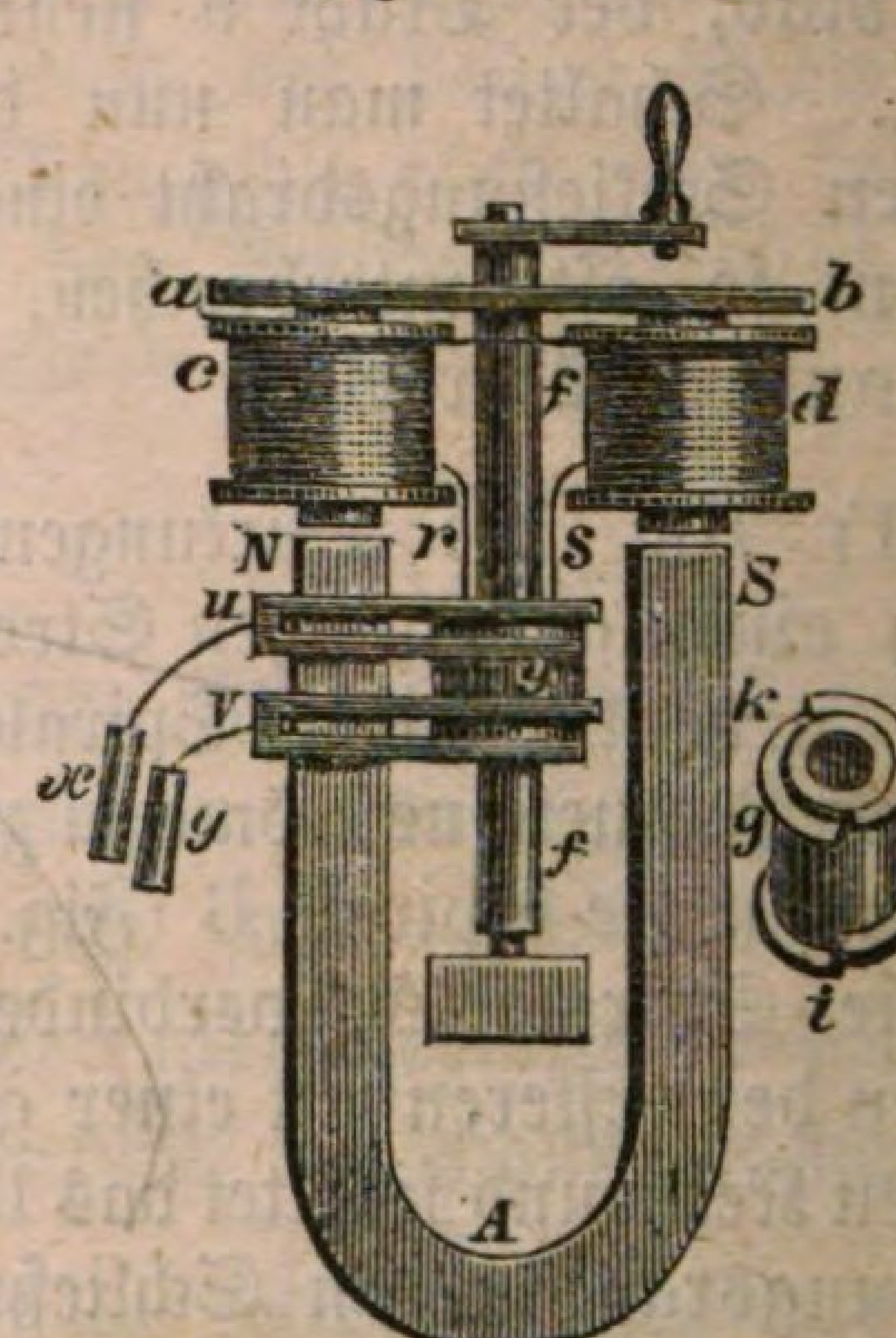


Fig. 233.



Electromagnetischer Rotations-Apparat von Stöhrer.

In Figur 233 ist NAS ein starker Hufeisenmagnet. Ganz nahe über seinen Polen N und S stehen zwei Eisencylinder, welche auf der Eisenplatte ab befestigt sind und zwei Holzspulen mit einer Inductionsspirale c und d tragen. Die Spirale ist so um die beiden Holzspulen

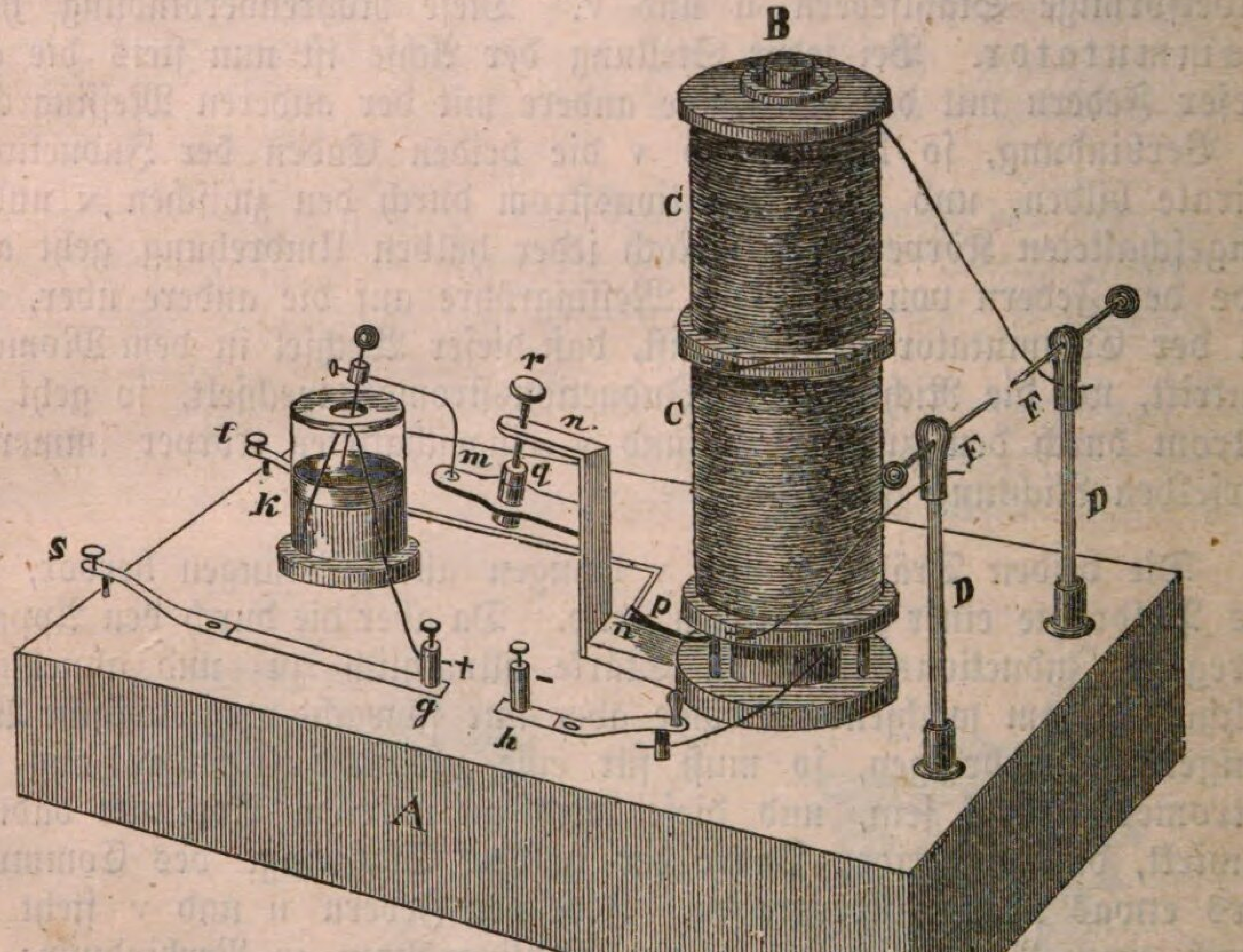
gewunden, daß, wenn man sich letztere nicht unter der Platte ab, sondern an die Punkte a und b angesetzt denkt, ihre Windungen einerlei Richtung haben. Die Platte ab ist an einer Welle (f) befestigt, vermittelst deren sie gedreht werden kann, so daß jeder der Eisencylinder c und d bei jeder Umdrehung einmal über dem Nordpole und einmal über dem Südpole steht. Auf der Achse f stecken zwei in einander geschobene, aber durch eine Buchsbaumröhre von einander isolirte Messingröhren g, von denen die äußere kürzer als die innere ist, so daß von letzterer oben und unten ein Theil hervorragt. Mit der inneren ist das eine Drahtende der Inductionsspirale, r, mit der äußeren das andere Ende, s, leitend verbunden. Jede der Messingröhren (s. die kleinere Figur) trägt auf ihrem Umfange zwei halbe, einander gegenüberstehende Stahlringe, die innere die halben Ringe h und i, die äußere die Ringe k und m. Auf diesen Ringen schleifen zwei gabelförmige Stahlfedern u und v. Diese Röhrenverbindung heißt Commutator. Bei jeder Stellung der Achse ist nun stets die eine dieser Federn mit der einen, die andere mit der anderen Messingröhre in Verbindung, so daß u und v die beiden Enden der Inductionsspirale bilden, und der Inductionsstrom durch den zwischen x und y eingeschalteten Körper geht. Nach jeder halben Umdrehung geht aber jede der Federn von der einen Messingröhre auf die andere über, und da der Commutator so gestellt ist, daß dieser Wechsel in dem Momente eintritt, wo die Richtung des Inductionsstromes wechselt, so geht der Strom durch den zwischen x und y eingeschalteten Körper immer in derselben Richtung hindurch.

Die beiden Drähte x und y bringen alle Wirkungen hervor, wie die Poldrähte einer galvanischen Kette. Da aber die durch den Apparat erregten Inductionsströme an Stärke allmählich zu- und abnehmen, solche langsam wachsende Ströme aber nur schwache physiologische Wirkungen hervorbringen, so muß für eine plötzliche Unterbrechung des Stromes gesorgt sein, und diese wird an unserem Apparate dadurch bewirkt, daß die beiden Paare der halben Stahlringe des Commutators etwas übereinandergreifen. Jede der Federn u und v steht dadurch einen Augenblick mit beiden Messingröhren in Verbindung; der Strom ist also in diesem Augenblicke nicht blos durch den menschlichen Körper, sondern auch durch Metall geschlossen. Da aber Metall ein weit besserer Leiter ist, als der menschliche Körper, so geht der ganze Strom durch das Metall oder es durchläuft doch nur ein unmerklicher Theil desselben den menschlichen Körper. In dem Augenblicke aber, wo die eine Hälfte jeder Feder den einen Stahlring verläßt, nimmt der Strom wieder seinen Weg durch x und y. Um eine recht schnelle Umdrehung der Achse zu erreichen, setzt man dieselbe nicht, wie die Figur zeigt, durch eine einfache Kurbel, sondern durch einen Schnurlauf in Bewegung, welcher über ein großes Rad geht.

§ 188. Ruhmkorff'scher Apparat.

§ 188. Da die im vorigen Paragraphen beschriebenen Inductions-Apparate sehr starke physiologische Wirkungen hervorbringen, obwohl der menschliche Körper dem Strome einen großen Leitungswiderstand entgegensetzt, so muß die Spannung an den Enden einer Inductionsspirale weit größer sein, als an denen der Schließungsdrähte eines Hauptstromes. Dennoch springt zwischen den Enden einer Inductionsspirale, wie sie im vorigen Paragraphen beschrieben sind, nur in unmittelbarster Nähe ein Funken über. Erst in neuester Zeit ist es gelungen, einen Inductions-Apparat zu construiren, welcher Funken bis zu einem Decimeter Länge und darüber giebt. Dieser Apparat, der Ruhmkorff'sche, ist in folgender Weise construirt: Auf einem Holzkasten A (Fig. 234) ist ein hohler dünner Holzcylinder B befestigt, um welchen ein starker mit einer isolirenden Substanz überzogener Kupferdraht

Fig. 234.



in mehreren Lagen aufgewickelt ist. Durch diesen Draht wird der durch eine galvanische Säule erzeugte Strom geführt. Zur Verstärkung dieses Stromes ist der Holzcylinder mit einem Bündel von isolirten Eisenstäben gefüllt. Ueber diese Hauptrolle sind zwei (oder mehrere) auf Pappcylinder gewickelte Inductionsrollen von mehreren hundert Meter sehr dünnen, gut isolirten Drahtes CC gesteckt, von denen das untere Ende der oberen Rolle und das obere Ende der unteren durch einen stärkeren Draht mit einander verbunden sind, so daß beide Rollen nur eine einzige Spirale bilden. Die beiden andern Enden sind mit

den Messingpfeilern DD in Verbindung gesetzt, so daß die beiden in ihnen verschiebbaren Messingstäbchen FF die Enden der Inductionsrollen bilden.

Die Verbindung der Hauptspirale mit den Polen der stromerzeugenden galvanischen Säule ist in einer solchen Weise hergestellt, daß die Säule in rascher Aufeinanderfolge geschlossen und geöffnet wird. Die beiden Pole derselben stehen nämlich mit den Messingpfeilern g und h in Verbindung. Von g führt ein Draht in ein Gläschen mit Quecksilber k. In dieses taucht zugleich die Spitze eines Messingdrahtes, welcher oben mit einer Kugel beschwert ist, und an einem federnden Messingstreifen m von dem Eisenstück nn getragen wird. An letzteres ist das eine Ende der Hauptspirale p befestigt; das andere Ende derselben steht mit dem Messingpfeiler h in Verbindung. Durch den in der Hauptspirale kreisenden Strom wird das Bündel Eisenstäbe in B und mit diesem das Eisenstück nn, auf dessen verlängertem unteren Theile sie stehen, und damit die eiserne Schraube r magnetisch. Diese zieht den an dem federnden Messingstreifen m befestigten Eisenkörper q in die Höhe und damit den von dem Streifen getragenen Messingdraht aus dem Quecksilber, wodurch der Strom unterbrochen wird. Bevor demnach der Eisenkörper q die Schraube r berührt, wird diese wieder unmagnetisch; es taucht daher der Messingdraht von Neuem in das Quecksilber und schließt die Kette, und so folgt fortwährend Schließen und Oeffnen derselben. Bei jeder Schließung und Unterbrechung entsteht in der Inductionsspirale ein Strom und springt ein Funke zwischen den Spitzen FF über.

In dem Kasten A befindet sich der sogenannte Condensator. Derselbe besteht aus drei, einige Meter langen Streifen Wachstaffet, deren Breite gleich der Länge des Kastens A ist, und zwischen welchen zwei etwas kleinere Stanniolstreifen liegen, also eine Franklin'sche Tafel bilden. Das Ganze ist so zusammengefaltet, daß es in den Kasten paßt. Der eine Stanniolstreifen steht durch den Messingständer s und einen Messingstreifen mit dem Pfeiler g, der andere durch den Ständer t und einen Messingstreifen mit dem Eisenstücke n in Verbindung. Sobald nun der Hauptstrom unterbrochen wird, entladet sich der in der Hauptspirale B entstehende Extrastrom auf der einen Seite durch die galvanische Säule hindurch, auf der andern durch das Eisenstück n und den zwischen ihm und dem Ständer t liegenden Messingstreifen in die Stanniolstreifen, und zwar wird, da er gleiche Richtung mit dem Hauptstrom, nämlich die Richtung gkmph hat, der mit s in Verbindung stehende Stanniolstreifen positiv, der andere negativ electrisch. Beim Schließen der Kette entladet sich die Franklin'sche Tafel durch die Hauptspirale in der Richtung sgkmp, weil die Electricität den metallischen Leitern folgt und daher nicht durch die Flüssigkeit der Säule geht, verstärkt also den Hauptstrom, da dieser dieselbe Richtung hat, oder hebt wenigstens die nachtheilige Wirkung des in der Hauptspirale entstehenden entgegengesetzten Extrastromes auf.

Auf das Quecksilber im Glase k wird eine Schicht Spiritus gegossen, um die beim Unterbrechen des Stromes entstehenden, der Gesundheit nachtheiligen Quecksilberdämpfe sogleich wieder zu condensiren.

Die interessantesten Versuche, welche sich mit dem Apparate anstellen lassen, sind folgende:

1) Die zwischen den Spitzen FF überspringenden Funken sind bei größeren Apparaten so energisch, daß sie nicht blos Schießbaumwolle, sondern auch Papier und Holzspäne entzünden, dünne Pappe durchbohren.

2) Bringt man zwischen die Spitzen FF ein Stück Zucker oder Kreide, so phosphoresciren diese Körper im Dunkeln.

3) Es läßt sich das electrische Licht im luftleeren Raume darstellen. Zu dem Zwecke verbindet man die beiden Spitzen FF mit dem Teller der Luftpumpe und dem durch die Stopfbüchse des Recipienten führenden Metallstabe, oder mit den beiden Drähten einer Geißler'schen Röhre. Geißler'sche Röhren sind nämlich luftleer gemachte Glasröhren, an deren beiden Enden Platindrähte eingeschmolzen sind, und welche gewöhnlich sehr verdünnte Dämpfe oder Gase enthalten, z. B. Terpentin-, Phosphor- u. dgl. Dämpfe, Stickgas u. dgl., wodurch die Farbe des electrischen Lichtes verändert wird. In manchen dieser Röhren tritt eine Schichtung des electrischen Lichtes recht augenfällig hervor; das Licht ist nämlich durch dunkele Zwischenräume unterbrochen.

4) Der positive Lichtstrom in einer Geißler'schen Röhre wird durch die Einwirkung eines starken Magneten gerade so abgelenkt, wie ein beweglicher stromführender Draht. Siehe § 182.

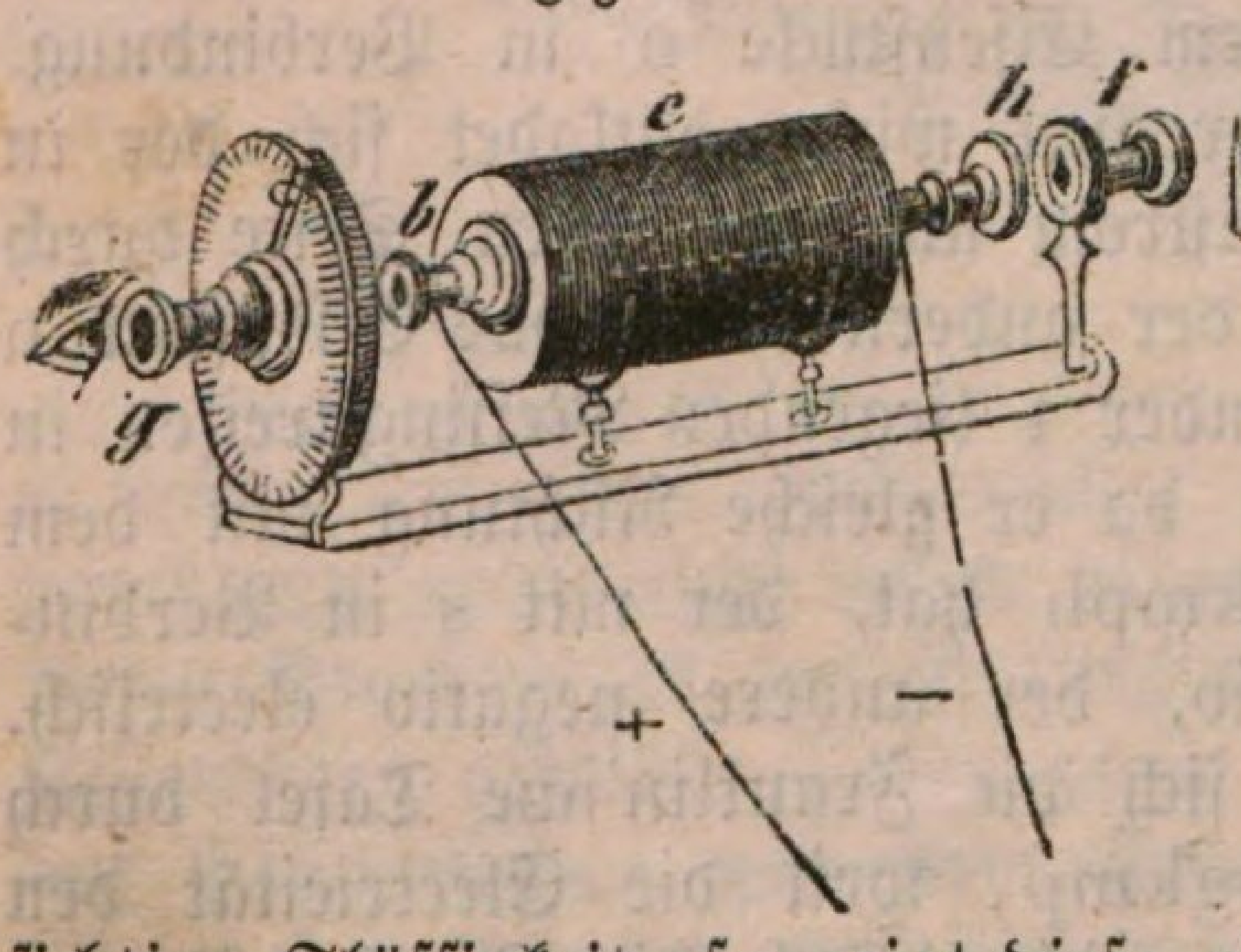
5) Eine Leydener Flasche kann man laden, indem man die äußere Stanniolbelegung vermittelst eines Drahtes mit der einen Spitze F in Berührung bringt und den Knopf der Flasche in geringe Entfernung von der andern Spitze F hält.

6) Befestigt man an den Knopf einer Leydener Flasche einen Draht, welcher nahe bis an die äußere Stanniolbelegung derselben reicht, und bringt dann mittelst zweier Drähte den Knopf der Flasche mit der einen Spitze F, die äußere Stanniolbelegung mit der andern Spitze F in Verbindung, so erfolgen schnell hinter einander Selbst-Entladungen der Flasche unter heftigem Knall.

Ueberhaupt kann man vermittelst des Ruhmkorff'schen Apparates alle Erscheinungen hervorbringen, welche sich mit der Leydener Flasche und der Volta'schen Säule erzeugen lassen.

§ 189. Wirkungen des galvanischen Stromes auf das Licht,

Fig. 235.



§ 189. Diamagnetismus. Ein electrischer Strom bringt, wie Faraday nachgewiesen hat (1845) nicht nur auf einen neben ihm liegenden geschlossenen Draht, sondern auch auf andere in seiner Nähe befindliche Körper gewisse Wirkungen hervor.

1) Führt man einen sehr starken electrischen Strom um eine durchsichtige Flüssigkeit, so zeigt diese eine besondere Einwirkung auf polarisirtes Licht.

In Fig. 235 ist c eine an beiden Enden mit Glasplatten verschlossene Röhre, welche die zu untersuchende Flüssigkeit enthält, und um welche in sehr

vielen Windungen eine Magnetisirungsspirale gewickelt ist; f und g sind zwei Nicol'sche Prismen, welche nur ein polarisirtes Bild geben. Stellt man nun das Ocularprisma so, daß, wenn man nach einer Lichtflamme sieht, das Gesichtsfeld dunkel erscheint, und führt dann einen kräftigen electrischen Strom durch die Spirale, so erscheint das Licht wieder, und man muß je nach der Stromrichtung das Ocularprisma nach links oder rechts drehen, um es wieder verschwinden zu machen.

Eine Flüssigkeit, welche der Einwirkung eines electrischen Stromes ausgesetzt ist, dreht also die Polarisations-Ebene eines Lichtstrahles aus ihrer Lage.

2) Hängt man an einem langen Coconfaden ein Stäbchen von irgend einer Materie so auf, daß es zwischen den Polen eines starken Electromagneten horizontal schwebt, so stellt es sich entweder wie ein Eisenstab so, daß es mit der Verbindungslinie der beiden Pole zusammenfällt, oder es stellt sich senkrecht auf diese Linie. *auf jeden beliebigen Körper.*

Die Körper der ersten Art nennt Faraday paramagnetisch, die der zweiten diamagnetisch. Paramagnetisch sind unter den einfachen Stoffen außer Eisen nur einige Metalle und Sauerstoff, alle übrigen Körper sind diamagnetisch. Die Stellung der paramagnetischen Körper ist Folge der Anziehung, die der diamagnetischen Folge der Abstoßung.

Denn wenn man z. B. ein Wismuthkügelchen an einen Coconfaden zwischen die Pole hängt, so wird es auf die Seite gestoßen.

Jeder Körper wird also von den Polen eines Electromagneten entweder angezogen oder abgestoßen.

Aus diesen Erscheinungen schließt Faraday, daß der electrische Strom in jedem Körper während der Dauer des Stromes eine dauernde Veränderung hervorbringe, und daß die Inductionsströme nur eine das Eintreten und Aufhören dieses veränderten Zustandes begleitende Erscheinung seien.

Anwendungen des Electromagnetismus.

§ 190. Der electrische Telegraph. Die beiden jetzt gebräuchlichen Telegraphen sind der Morse'sche und der Typendruck-Telegraph von Hughes. *§ 190.*

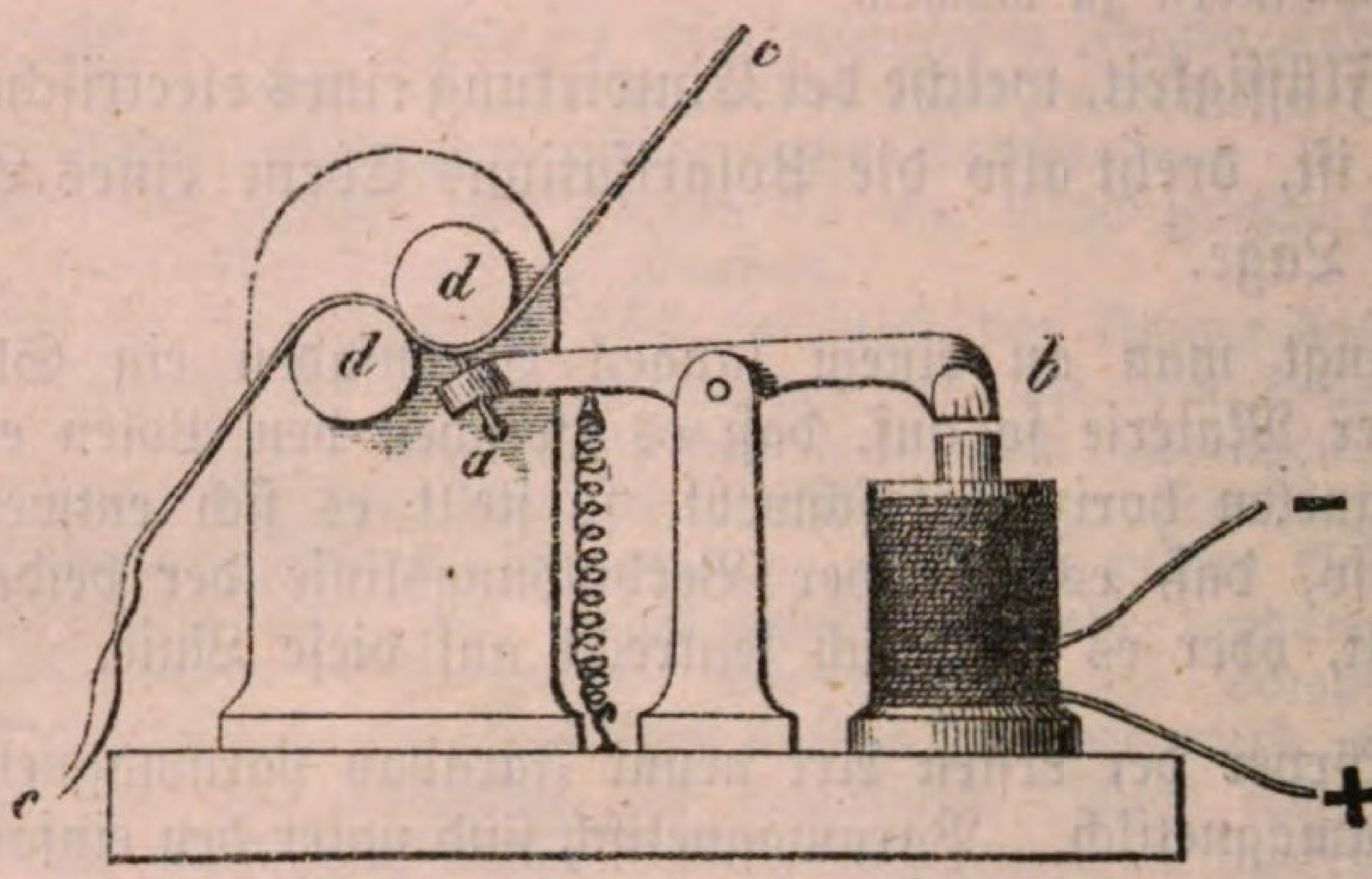
A. Der Morse'sche. Auf der Station A ist eine galvanische Säule aufgestellt, von der der eine Poldraht nach der Erde geleitet ist und hier in eine Metallplatte endet, der andere nach der Station B führt, und dort mit dem einen Ende der Spirale eines Electromagneten verbunden ist, während das andere Ende der letzteren, wieder mit einer Metallplatte versehen in die Erde versenkt ist.*) *Der Morse'sche Telegraph.*

---

*) Anmerkung. Die beiden Poldrähte durchläuft nämlich ein galvanischer Strom nicht blos dann, wenn man sie leitend mit einander verbindet, sondern auch, wenn man

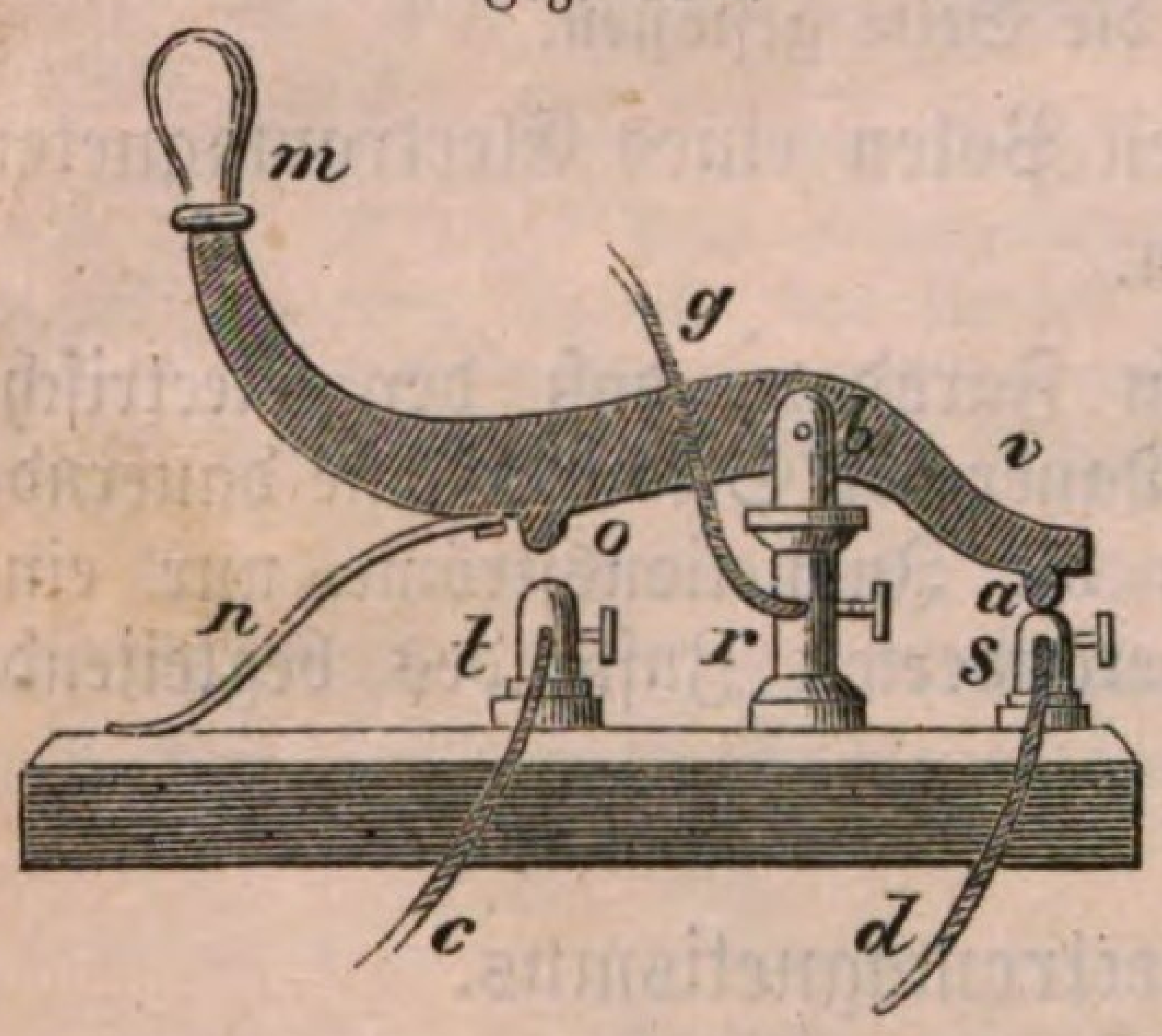
Dicht über den Polen des Electromagneten hängt (ohne sie jedoch zu berühren) der Anker an dem einen Arme eines Hebels, dessen anderer Arm eine scharfe Stahlspitze trägt (Fig. 236).

Fig. 236.



Diese sticht, wenn der Anker des Hebels bei b angezogen wird, in einen Papierstreifen cc, welcher zwischen zwei durch ein Uhrwerk in Bewegung gesetzten Walzen dd langsam hindurchgezogen wird, und macht hier einen Punkt oder einen Strich, je nachdem die galvanische Säule nur einen Augenblick oder längere Zeit geschlossen gehalten und damit der Anker bei b angezogen wird. Der Telegraphist im Orte A ist also im Stande, durch Schließen und Oeffnen der galvanischen Säule auf dem Papierstreifen im Orte B willkürlich Punkte und Striche zu erzeugen. Durch Zusammensetzungen von solchen Punkten und Strichen hat man nun die Buchstaben des Alphabets ausgedrückt, nämlich:

Fig. 237.



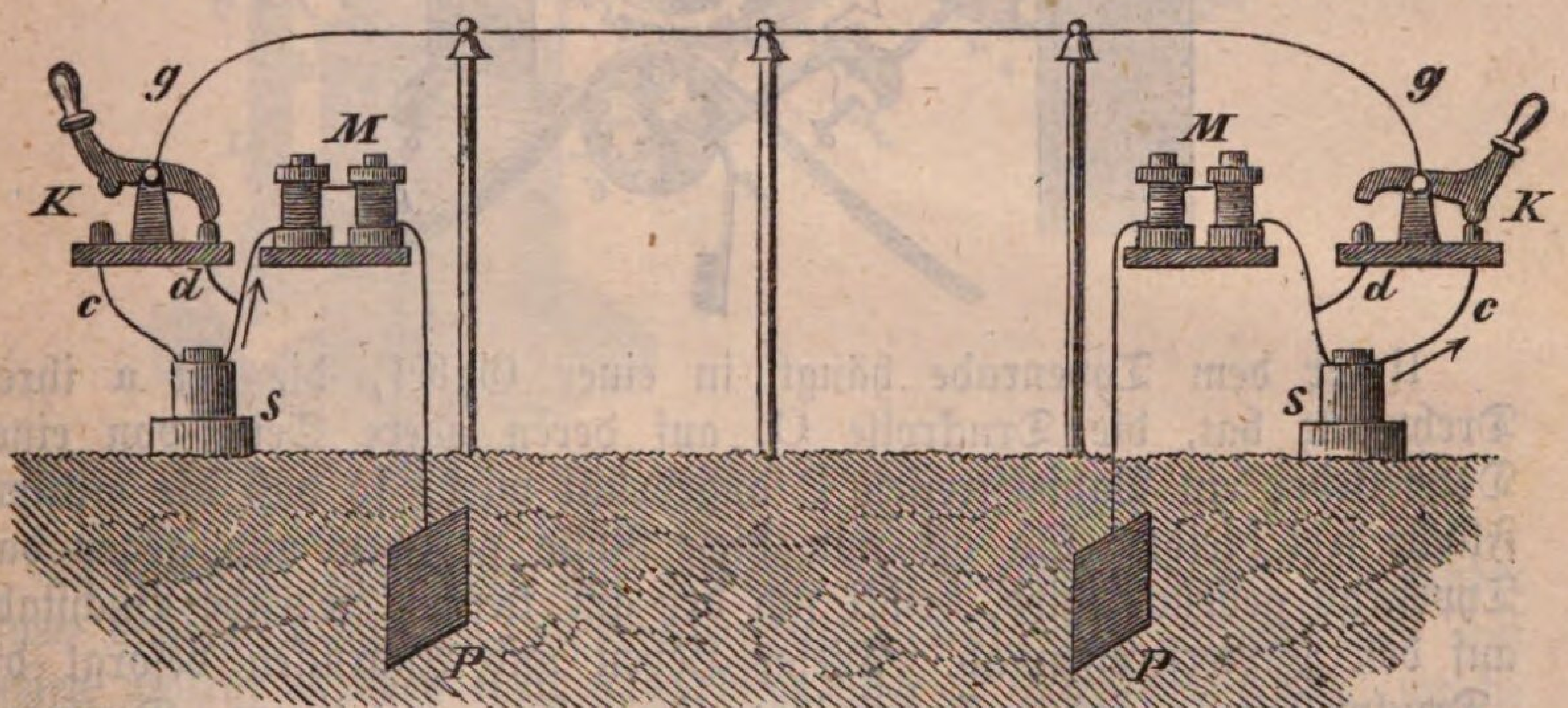
---

durch sie die Electricität der beiden Pole der Säule irgend wohin ableitet. Der Vorgang ist derselbe wie folgender: Wenn man von jedem der beiden Conductoren einer Electrisirmaschine die Electricität durch einen Draht irgend wohin ableitet, so durchläuft diese beiden Drähte ein electrischer Strom, so lange man die Scheibe der Maschine dreht. Eine Bestätigung giebt folgende Erfahrung: Man hatte auf einem Schiffe ein zum Versenken bestimmtes viele Meilen langes Telegraphen-Kabel liegen. Als man das eine Ende desselben mit dem einen Pole einer galvanischen Säule verband, deren anderer Poldraht mit der Erde in Verbindung gesetzt war, so zeigte das Galvanometer einen das Kabel durchlaufenden Strom, der natürlich nur momentan war, da das andere Ende des Kabels die Electricität nicht weiter senden konnte.

a durch . — e durch .
b „ — . . . f „ . . — .
c „ — . — . g „ — — .
d „ — . . h „ . . . .

u. s. w. und kann also mittelst dieses Alphabets Nachrichten auf den Papierstreifen schreiben. Das Schließen und Oeffnen der Säule wird mittelst des sogenannten Schlüssels (Fig. 237) ausgeführt, der in den Leitungsdraht c und g Fig. 238 eingeschaltet ist und folgende Einrichtung hat: Auf einem Brettchen ist eine kleine Messingsäule r befestigt, welche die stählerne Drehungs-Achse b des messingenen Hebels mov trägt. Dieser wird durch eine Feder n in der durch die Figur dargestellten Stellung erhalten und stützt sich mit dem Messingknopfe a auf die Messingsäule s. Bei dieser Stellung ist der Verbindungsdraht zwischen A und B unterbrochen. Sobald aber der Hebel mit dem Ende m niedergedrückt wird, und der Messingknopf o die Messingsäule t berührt, ist die Verbindung der Drähte c und g (Fig. 238) hergestellt und also die Säule geschlossen.

Fig. 238.



Die Draht-Verbindung zwischen den beiden Stationen ist durch Figur 238 dargestellt.

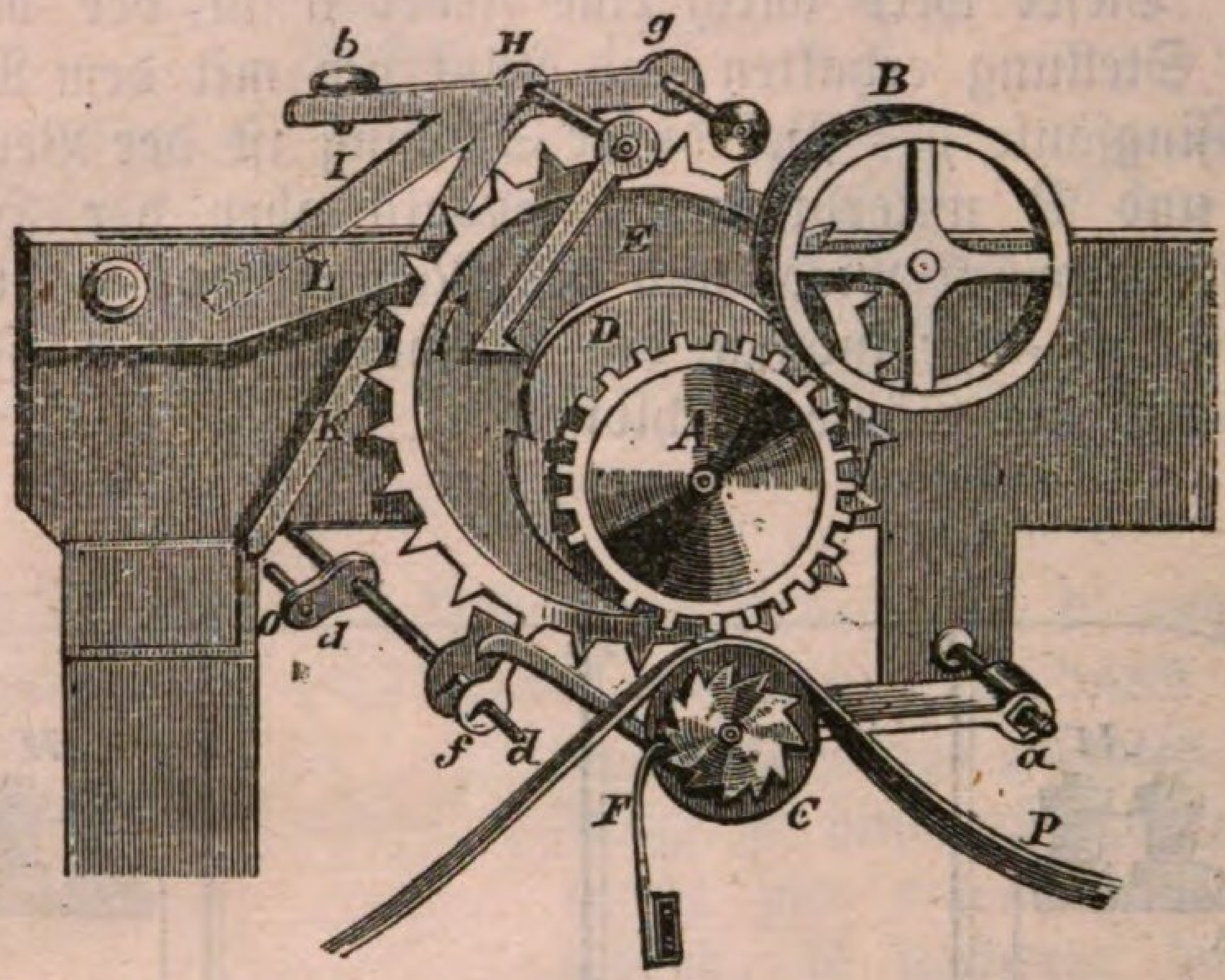
PP sind in die Erde gelassene Metallplatten, S die galvanische Säule, K der Schlüssel, M der Electromagnet.

So oft eine Depesche vom Orte A aus nach B abgeschickt werden soll, drückt der Telegraphist im Orte A den Schlüssel mehrmals hinter einander nieder, wodurch der über dem Electromagneten in B befindliche Hebel in klappernde Bewegung versetzt wird, worauf der Telegraphist in B das den Papierstreifen bewegende Uhrwerk in Gang setzt.

B. Der Typendrucktelegraph von Hughes, vermittelst dessen die Depesche in gewöhnlicher Schrift auf einen Papierstreifen gedruckt wird, hat im Wesentlichen folgende Einrichtung:

Ein Zahnrad A (Fig. 239), das sogenannte Typenrad, trägt auf seinen 27 Zähnen die 26 Buchstaben des Alphabets und einen Punkt. Zwischen diesem und dem ersten Buchstaben (a) ist ein Zahn ausgelassen. Dasselbe befindet sich auf der letzten Achse eines Uhrwerks, welches durch ein Gewicht von mehr als 50 Kilogramm getrieben wird. Ueber dem Typenrade befindet sich die mit wollenem Zeuge überzogene Schwärzrolle B, welche die Typen fortwährend mit Druckerschwärze versieht, indem sich diese beim Umlaufe an sie andrücken und sie mit umdrehen.

Fig. 239.

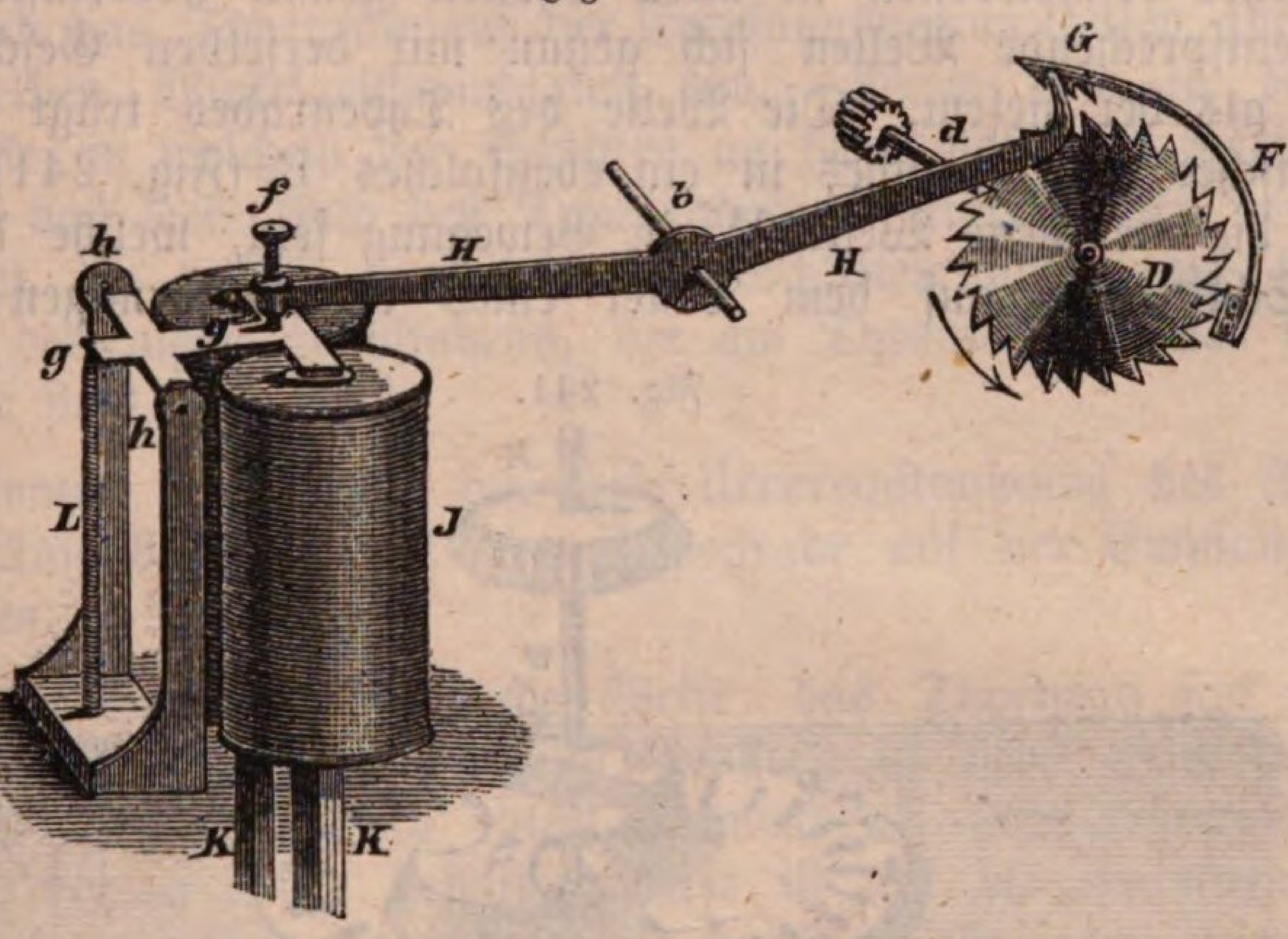


Unter dem Typenrade hängt in einer Gabel, die bei a ihren Drehpunkt hat, die Druckrolle C, auf deren obere Seite von einer Doppelfeder ein Papierstreifen P angedrückt wird, so daß die mittlere Fläche frei bleibt. So oft nun diese Rolle gehoben und gegen das Typenrad gedrückt wird, druckt sich der am tiefsten stehende Buchstabe auf den Papierstreifen ab. Dieses Heben und Andrücken besorgt die „Druckwelle“ dd, indem sie bei ihrer Umdrehung mit einem „Daumen“ f die „Nase“ der Gabel ergreift, in welcher die Druckwelle hängt. Die Druckwelle besteht aus zwei von einander getrennten Theilen, von denen der hintere Theil, der in der Figur 239 nicht zu sehen ist, fortwährend, durch das Uhrwerk getrieben, umläuft, und zwar so schnell, daß er eine Umdrehung vollendet, wenn das Typenrad um $^1/_{10}$ Zahn fortrückt, der vordere Theil aber, dd, im rechten Augenblicke an jenen angekuppelt wird und nach einer Umdrehung sich wieder auslöst.

Diese Kuppelung und Lösung wird auf folgende Weise bewerkstelligt: Der hintere umlaufende Theil der Druckwelle trägt ein Zahnrad D (Fig. 240). Dicht neben diesem befindet sich auf dem vorderen Theile ein anderes Rad, an dessen dem Rade D zugewandten Seite in der Nähe der Peripherie eine Stahlfeder F befestigt ist, welche ein nach unten mit einigen Zähnen, und seitwärts nach vorn mit einem

Vorsprunge versehenes Eisenstück G (Gesperre) trägt. Der Vorsprung steht, auch wenn das Gesperre in dem Zahnrade liegt, über dem vorderen ruhenden Rade und reicht nach vorn zu über dasselbe hinweg. Derselbe ruht für gewöhnlich auf dem Hebel HH, der bei b seinen Drehpunkt hat, wodurch das Gesperre außerhalb der Zähne des Zahnrades gehalten wird. Sobald aber der Hebel an dem Ende f gehoben wird, also bei G niedergeht, fällt das Gesperre in die Zähne von D ein und die Kuppelung ist hergestellt. Der gekuppelte vordere Theil der Druckwelle, dd, trägt aber einen Kreissector mit einem elastischen Bügel, der gerade unter dem Hebel HH steht und diesen, ehe eine Umdrehung vollendet ist, mit dem Ende bei G wieder in seine Ruhelage hebt, und dadurch das Gesperre G auslöst.

Fig. 240.



Der Hebel HH stützt sich mittelst der Schraube f auf den Anker eines starken Magneten. Derselbe ruht jedoch nicht unmittelbar auf dessen Polen, sondern liegt ganz dicht über 2 Eisenkernen KK, welche auf die Pole des Magneten aufgesetzt und dadurch selbst magnetisch sind. Der Anker befindet sich an einem Hebel, der in der Welle hh seinen Stützpunkt hat und mit dem Ende g durch eine Spiralfeder L nach unten gezogen wird, welche der anziehenden Kraft des Magneten fast das Gleichgewicht hält. Auf die Eisenkerne KK sind zwei Holzcylinder mit übersponnener Kupferspirale gesteckt.

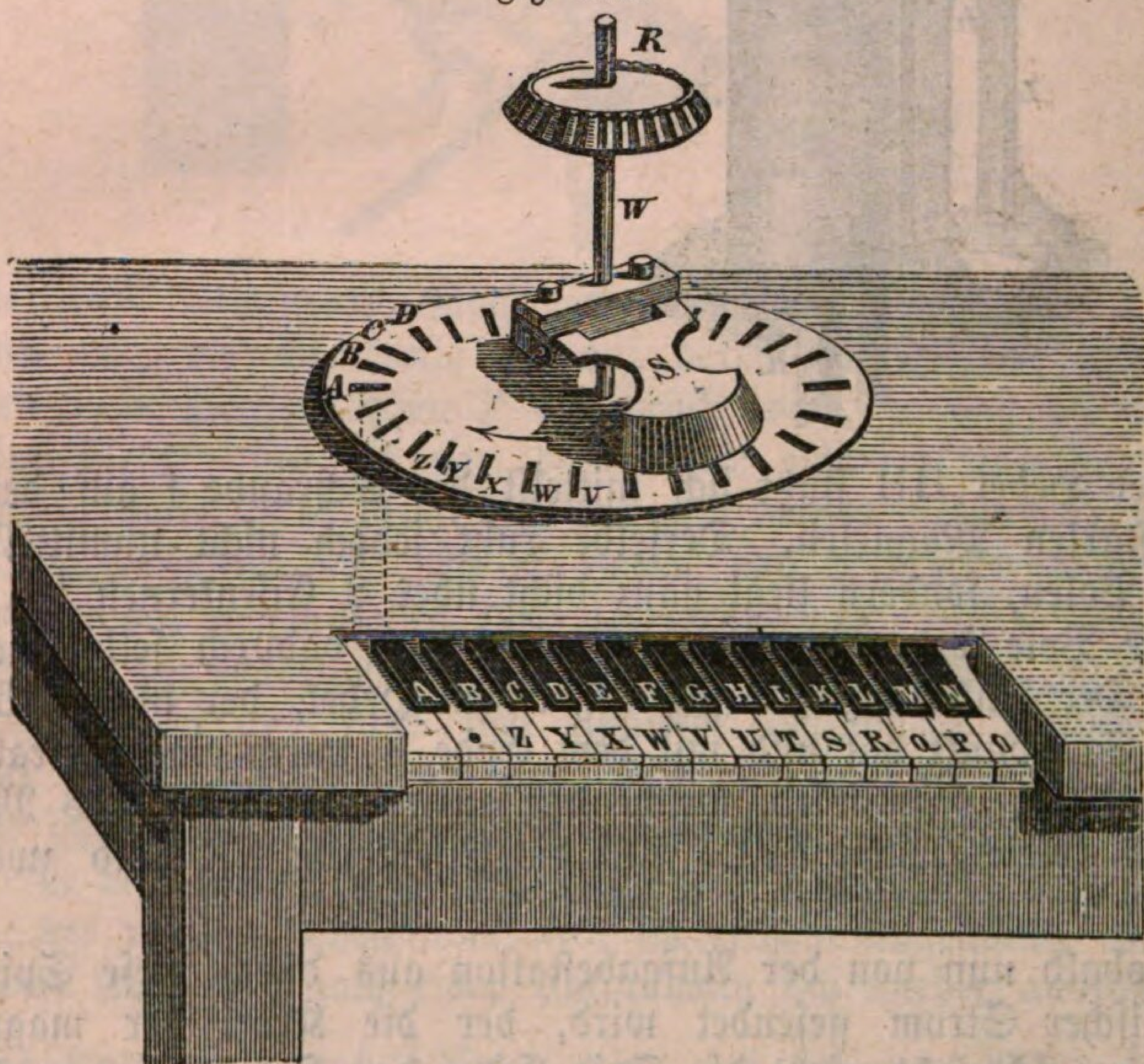
Sobald nun von der Aufgabestation aus durch diese Spirale ein galvanischer Strom gesendet wird, der die Kraft der magnetischen Eisenkerne schwächt, zieht die Spiralfeder den Hebel bei g nach unten, hebt den Anker und damit das Ende f des Hebels HH in die Höhe; das Gesperre G fällt in die Zähne des Rades D, der vordere Theil der Druckwelle dd wird gekuppelt, diese ergreift mit dem Daumen die Nase der Druckwelle, drückt letztere gegen die zu unterst stehende Type des Typenrades, löst sich aber, noch ehe die folgende Type sie erreicht,

wieder aus, und die Druckrolle fällt zurück in die Ruhelage. Vor der Druckrolle c (Fig. 239) ist auf derselben Achse ein Zahnrad befestigt; in dieses greift ein an der sehr biegsamen Stahlfeder F befindlicher Haken ein, wodurch dieses Zahnrad, und damit die Druckrolle mit dem Papierstreifen, so oft sie gehoben wird, sich so weit vorwärts dreht, daß die Buchstaben auf dem Papierstreifen mit dem nöthigen Zwischenraume neben einander zu stehen kommen.

Es soll nun nachgewiesen werden, wie von der Aufgabestation aus in dem rechten Augenblicke, d. h. wenn der zu druckende Buchstabe des Typenrades gerade über der Druckrolle steht, das Andrücken derselben an das Typenrad bewerkstelligt wird.

Auf der Aufgabestation befindet sich nämlich ein Apparat, der mit dem bisher beschriebenen in allen Theilen genau übereinstimmt, und dessen entsprechende Wellen sich genau mit derselben Geschwindigkeit drehen, als bei diesem. Die Welle des Typenrades trägt aber noch ein conisches Rad, welches in ein ebensolches R (Fig. 241) eingreift, und so die metallene Welle W in Bewegung setzt, welche den metallenen Schlitten S auf dem Deckel eines cylinderförmigen Gehäuses

Fig. 241.



herumführt. Unter diesem Deckel stehen im Kreise herum 28 verticale Metallstäbe, welche einzeln vermittelst einer Claviatur ein wenig gehoben werden können, so daß ihr abgerundeter Kopf aus einer Oeffnung des Deckels hervortritt und beim Umlaufe des Schlittens von diesem schleifend berührt wird. Von den Tasten sind 26 mit den Buchstaben

des Alphabets, die folgende mit einem Punkte bezeichnet und die nächste ist weiß gelassen. Sämmtliche Tasten und durch sie die verticalen Stäbe stehen mit dem einen Pole einer galvanischen Säule in leitender Verbindung; von dem anderen Pole führt ein Draht nach der Erde. Von der Welle W aus geht ein Draht nach der Empfangsstation und ist dort mit dem einen Ende der Spirale J (Fig. 240) verbunden, während das andere Ende derselben nach der Erde geführt ist. Sobald also eine Taste gedrückt wird, kommt der Kopf des gehobenen Metallstabes mit dem umlaufenden Schlitten in Berührung; dadurch wird die Kette geschlossen; auf der Empfangsstation wird der Anker des Magneten abgerissen, die Druckwelle wird angekuppelt, die Druckrolle gegen das Typenrad gedrückt und der zu unterst stehende Buchstabe auf den Papierstreifen gedruckt. Der Schlitten auf der Aufgabestation und das Typenrad auf der Empfangsstation laufen aber genau mit derselben Winkelgeschwindigkeit um. Wenn also in demselben Augenblicke, in welchem der Schlitten an dem Stabe der weißen Taste ankommt, das leere Feld des Typenrades zu unterst über der Druckrolle steht, so passirt fernerhin der Schlitten gleichzeitig stets die Oeffnung desjenigen Buchstabens, der am Typenrade gerade über der Druckrolle steht.

Es kommt nun darauf an, diese Uebereinstimmung des Schlittens auf der Aufgabestation mit dem Typenrade auf der Empfangsstation herzustellen.

Dies geschieht auf folgende Weise: das Typenrad sitzt nicht fest auf der Achse, welche es umtreibt, sondern ist nebst einer stählernen Scheibe D (Fig. 239) und einem Zahnrade E (dem Correctionsrade) auf einer hohlen Welle befestigt; diese ist auf die umlaufende Achse aufgeschoben und das Correctionsrad durch ein Gesperre an ein Zahnrad derselben gekuppelt. Sobald nun eine Depesche abgehen soll, setzt der Telegraphist der Empfangsstation auf ein erhaltenes Signal das Uhrwerk in Bewegung und drückt durch einen Druck auf die Taste b den Hebel H, der in g seinen Drehpunkt hat, mit den beiden Armen J und K versehen ist und einen nach aufwärts beweglichen Haken trägt, herunter. Dabei gleitet der Arm J auf der schrägen Hinterwand der Platte L herunter und schiebt diese nach vorn (auf den Beschauer zu), wodurch das Gesperre des Rades E abgefangen und die Auslösung der Räder E, D und A bewirkt wird. Zugleich fällt der Haken in eine Falle (Einschnitt) des Rades D, die so angebracht ist, daß nun die Zahnlücke des Typenrades gerade über der Druckwelle steht. Nun drückt der Telegraphist auf der Aufgabestation die weiße Taste, der Metallstab derselben tritt aus seiner Oeffnung, und sobald der Schlitten den Kopf desselben berührt, wird auf der Empfangsstation der Anker losgerissen, die Druckwelle angekuppelt; diese schlägt mit dem Stifte o an den Arm K, hebt dadurch das Hebelsystem H in die Höhe und stellt dadurch die Kuppelung der drei Räder A, D und E mit der

umlaufenden Welle wieder her. Dies alles geschieht in einem Zeitraume, in welchem der Schlitten nur ein Zehntel des Raumes zurücklegt, welcher zwischen zwei auf einander folgenden Löchern liegt, daher beginnt das Typenrad seine Bewegung schon lange, bevor der Schlitten das Loch des nächsten Buchstabens A erreicht. Somit ist die Uebereinstimmung des Schlittens mit dem Typenrade hergestellt. Außerdem befindet sich an der Druckwelle ein Zapfen, der bei der einmaligen Umdrehung derselben eine Lücke zwischen zwei Zähnen des Correctionsrades passirt und dabei genau dieses Rad und damit das Typenrad in die Stellung schiebt, daß sein Buchstabe A die Druckwelle passirt, wenn der Schlitten am Loche A ankommt. Diese Correction findet so oft statt, als ein Buchstabe gedruckt wird. Damit dies aber möglich ist, ist das Rad, an welches das Correctionsrad angekuppelt ist, so an seine Welle befestigt, daß es eine kleine Verschiebung zuläßt.

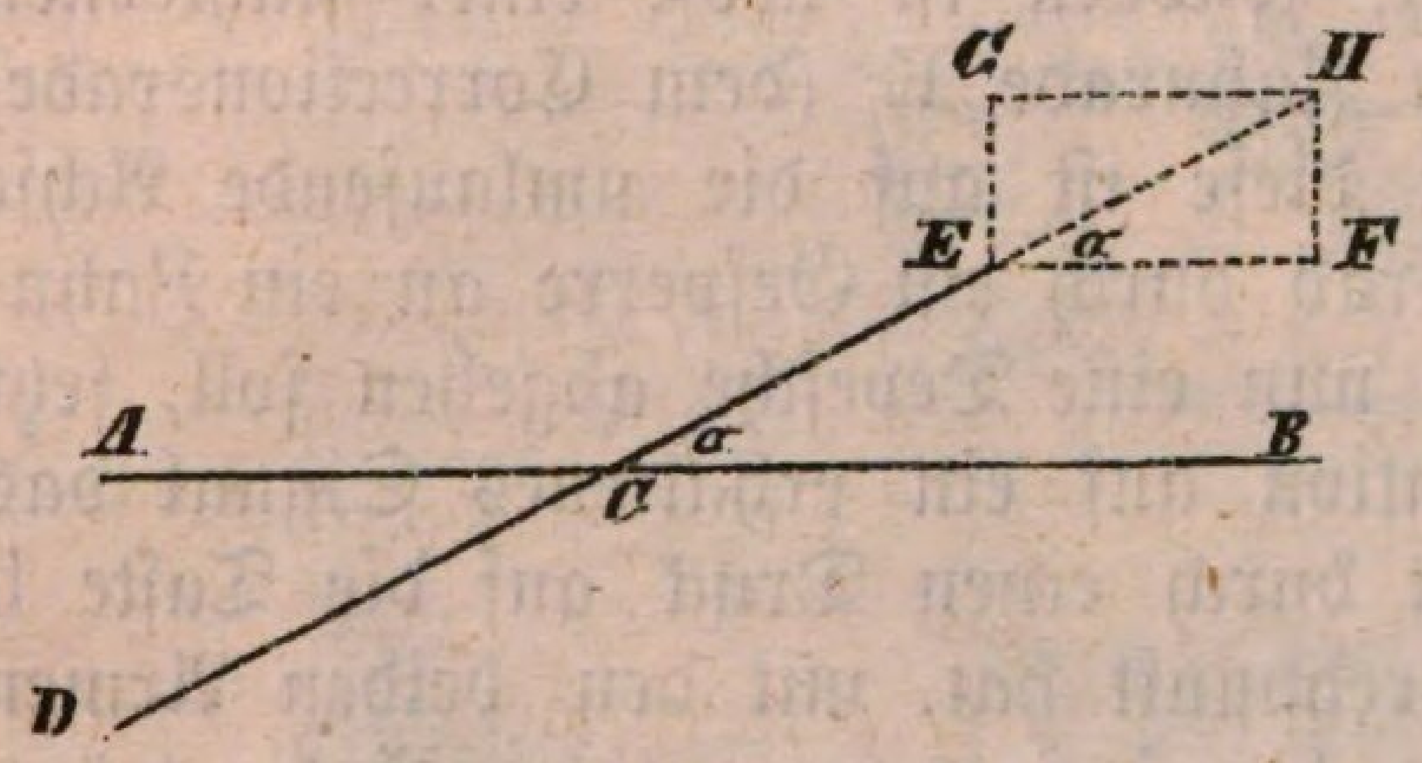
§ 191. Messung der Stärke galvanischer Ströme.

§ 191. Die Ablenkung der Magnetnadel durch den electrischen Strom hat man benutzt, um die Stärke electrischer Ströme mit einander zu vergleichen.

Bei gleichem Abstande von der Magnetnadel ist nämlich die Stärke des Stromes der Tangente des Ablenkungswinkels der Magnetnadel porportional.

Beweis. AB (Fig. 242) sei die Richtung des magnetischen Meridians und zugleich die des electrischen Stromes, α der Winkel, um welchen die Magnetnadel von ihrer natürlichen Stellung abgelenkt wird. Die abstoßende Kraft des Stromes wirkt in der Richtung EG, die Kraft des Erdmagnetismus in der Richtung EF, die Resultirende muß die Richtung EH haben; folglich stellen die Linien EG, EF und EH durch ihre Längen das Verhältniß der genannten Kräfte dar.

Fig. 242.



Nun ist $\frac{HF}{EF} = tg\alpha$; folglich, wenn man die Stärke des Erdmagnetismus durch M, die abstoßende Kraft des Stromes durch K bezeichnet: $\frac{K}{M} = tg\alpha$, also $K = M tg\alpha$. Ist dann die Stärke eines anders Stromes $= K'$ und der Ablenkungswinkel für ihn $= \alpha'$, so ist $K' = M tg\alpha'$, folglich: $\frac{K}{K'} = \frac{tg\alpha}{tg\alpha'}$.

Wir haben bei dieser Untersuchung angenommen, daß die ablenkende Kraft des Stromes auf den Pol E die Richtung EG, nämlich senkrecht auf AB, habe. Diese Richtung hat aber die Kraft nur im ersten Momente, in welchem der Strom beginnt, wo also die Magnetnadel parallel mit dem Leitungsdrahte unter demselben steht. Ist die Magnetnadel aber abgelenkt, so daß sie die Stellung DE hat, so ist die Richtung der ablenkenden Kraft eine etwas andere. Jene, unsere Annahme

und also auch das entwickelte Gesetz ist aber annähernd richtig, wenn die Länge der Magnetnadel im Verhältniß zur Entfernung des Stromes von ihr und zur Breite des Leitungsdrahtes ziemlich klein ist, und noch genauer richtig, wenn der Strom im Kreise um die Magnetnadel herumgeht.

Man bedient sich daher zur Messung der ablenkenden Kraft, also zur Messung der Stromstärke, der sogenannten Tangentenbussole, d. i. eine kleine Bussole (eine Magnetnadel mit eingetheiltem Kreise), welche sich in der Mitte eines sehr dicken, kreisförmigen, vertical stehenden Kupferreifens befindet und deren Länge höchstens $1/5$ des Durchmessers dieses Reifens beträgt. Dieser Kupferreif wird in die Ebene des magnetischen Meridians gestellt und durch ihn der zu messende electrische Strom geleitet. Tangenten-Bussole.

Die Stärke des electrischen Stromes betreffende Gesetze.

§ 192. **Galvanische Polarisation.** Es wurde in § 175 angeführt, daß in der gewöhnlichen Volta'schen Kette der Strom dadurch sehr bald schwächer werde, daß sich die Kupferplatten mit Wasserstoffbläschen überziehen. Dieser Wasserstoffüberzug erregt nämlich in jeder Zerlegungszelle einen electrischen Strom, welcher dem Hauptstrome entgegengesetzt ist. Diese electromotorische Gegenkraft nennt man galvanische Polarisation. § 192. Galvanische Polarisation.

Taucht man in gesäuertes Wasser zwei wohlgereinigte Platinplatten, und verbindet sie mit den beiden Drahtenden eines Galvanometers, so bleibt die Magnetnadel desselben in Ruhe; hat man aber die eine der Platinplatten zuvor in ein mit Wasserstoff gefülltes Gefäß getaucht, so zeigt das Galvanometer einen Strom an, welcher von der mit Wasserstoff überzogenen Platte durch das Wasser nach der andern Platte geht. Dieselbe Erscheinung zeigt sich, wenn die eine Platinplatte vorher als negative Platte eines Wasserzersetzungs-Apparates gedient hat.

§ 193. **Vergleichung des Galvanismus mit der Reibungs-Electricität.** Die Uebereinstimmung in den Wirkungen des Galvanismus und der durch die Electrisirmaschine oder das Electrophor hervorgebrachten Electricität macht es unzweifelhaft, daß beide Kräfte identisch sind; nur daß im Allgemeinen die Electrisirmaschine eine größere Spannung, die galvanische Kette eine größere Quantität der Electricität liefert. Die auf dem Conductor der Electrisirmaschine oder in der Leydener Flasche gesammelte Electricität befindet sich in Ruhe; ebenso die in der ungeschlossenen galvanischen Säule. Die Entladung des Conductors oder der Leydener Flasche bildet einen electrischen Strom, ebenso wie die Schließung der galvanischen Säule. Dagegen erhält man mittelst der kleinsten Electrisirmaschine durch wenig Umdrehungen eine Spannung, welche die Spannung der größten galvani- § 193. Vergleichung des Galvanismus mit der Reibungs-Electricität.

schen Säule (ungeschlossen) weit übertrifft. Aber die galvanische Säule liefert einen Strom, der so lange dauert, als die Kette geschlossen ist, während der Entladungsstrom des Conductors oder der Leydener Flasche nur einen Moment dauert.

Während der Funke der Leydener Flasche eine Pappscheibe durchschlägt, durchbricht die Electricität einer galvanischen Säule die trockene Oberhaut der Finger nur dann, wenn der Apparat aus einer großen Menge von Plattenpaaren besteht. Der Funken eines Conductors durchbricht eine viele Zoll dicke Luftschicht, der einer galvanischen Säule springt nur in unmittelbarster Nähe über; dagegen bringen galvanische Apparate viel leichter Drähte zum Glühen, als Leydener Flaschen, und außerdem dauert bei ersteren das Glühen so lange, als die Kette geschlossen ist, bei letzteren blos wenige Augenblicke. Ebenso zeigt die Magnetisirung des Eisens und die chemische Zersetzung eine bei weitem größere Quantität der Electricität bei galvanischen Apparaten, als bei der Leydener Flasche.

Man hat daher sehr treffend die Electrisirmaschine mit einer wasserarmen Quelle von hohem Gefälle, die galvanische Kette mit einer wasserreichen Quelle von niederem Gefälle verglichen.

Führe das Bild aus.

§ 194. Das Ohm'sche Gesetz.

§ 194. Das Ohm'sche Gesetz. Man nimmt an, daß die Wirksamkeit eines electrischen Stromes von der Quantität der Electricität abhängt, welche den Schließungsbogen (und also auch den ganzen Apparat) in einer gegebenen Zeit durchströmt. Diese Menge ist aber desto größer:

1) je bessere Leiter der Schließungsbogen und die einzelnen Elemente des Apparates sind, oder, was dasselbe ist, je weniger Leitungswiderstand der Strom zu überwinden hat, und

2) mit je größerer Kraft die Electricität durch den Apparat getrieben wird, d. h. je größer die Spannung der erzeugten Electricität, oder mit anderen Worten die electromotorische Kraft ist.

Je weiter also die beiden Metalle einer Kette in der Spannungsreihe von einander stehen, desto stärker wirkt diese. Zink und Platin oder Kohle geben also den stärksten Strom.

Dieses Gesetz ist zuerst von Ohm aufgestellt und läßt sich kurz so aussprechen:

Die Zahl für die Stärke des electrischen Stromes ist gleich der electromotorischen Kraft dividirt durch den Leitungswiderstand, d. i.

$$P = \frac{E}{W}$$

d. h. die Stromstärke ist $\frac{E}{W}$ mal so groß, als diejenige eines Stromes, dessen electromotorische Kraft und Leitungswiderstand man gleich 1 gesetzt hat.

Das Gesetz wurde von Ohm in Erlangen 1827 gefunden.

§ 195. Leitungsfähigkeit der Metalle und der Flüssigkeiten. Ein und dieselbe galvanische Kette (einfache oder zusammengesetzte) liefert bald einen stärkeren, bald einen schwächeren Strom, je nachdem man einen kürzeren oder längeren, je nachdem man einen dickeren oder dünneren Draht als Schließungsbogen anwendet. Es muß also der Leitungswiderstand eines Drahtes von seiner Länge und Dicke abhängig sein, und zwar hat man mittelst der Tangentenbussole folgendes Gesetz nachgewiesen:

§ 195. Leitungsfähigkeit der Metalle und der Flüssigkeiten.

Der Leitungswiderstand eines Drahtes wächst im geraden Verhältnisse mit der Länge und im umgekehrten mit dem Querschnitte desselben.

Dasselbe Gesetz gilt für flüssige Leiter, nur daß ein flüssiger Leiter den galvanischen Strom bedeutend mehr schwächt, also eine bedeutend geringere Leitungsfähigkeit besitzt, als ein Metalldraht von derselben Länge und demselben Querschnitte.

Daher müssen die Flüssigkeitsschichten in der galvanischen Kette möglichst flach gemacht werden. Durch Zusatz von Säure wird die Leitungsfähigkeit des Wassers vermehrt.

Ebenso hat man gefunden, daß verschiedene Metalle dem Strome einen verschiedenen Leitungswiderstand entgegensetzen, und zwar folgen die Metalle nach ihrer Leitungsfähigkeit so auf einander:

Silber, Kupfer, Gold, Zink, Eisen, Neusilber, Platin, Quecksilber, wo Silber der beste, Quecksilber der schlechteste Leiter ist.

Daher benutzt man als Leitungsdrähte gewöhnlich Kupferdrähte.

§ 196. Abhängigkeit der Stromstärke einer galvanischen Säule von der Größe und der Menge ihrer Elemente. Bezeichnet p die Stromstärke einer einfachen galvanischen Kette, e ihre electromotorische Kraft, w den Leitungswiderstand in der Kette selbst, w′ den im Schließungsbogen, so ist nach dem Ohm'schen Gesetze: $p = \frac{e}{w + w'}$ und für eine Säule von n solchen Elementen $P = \frac{ne}{nw + w'}$. Ist nun w′ im Vergleich zu w sehr klein, so ist beinahe $p = \frac{e}{w}$ und $P = \frac{ne}{nw} = \frac{e}{w}$, also $P = p$, d. h.:

§ 196. Abhängigkeit der Stromstärke: von der Menge der Plattenpaare,

Wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen sehr klein, z. B. wenn dieser ein kurzer, dicker Draht ist, so bringt eine ganze galvanische Säule keine merklich größere Wirkung hervor, als ein einziges Plattenpaar derselben.

Ist aber w' im Vergleich zu w sehr groß, so ändert sich der Werth des Bruches $\frac{e}{w + w'}$ unmerklich, wenn man w wegläßt; dann ist $p = \frac{e}{w'}$, und $P = \frac{ne}{w'}$, d. h.: Wenn der Leitungswiderstand im Schließungsbogen sehr groß ist, z. B. wenn der letztere ein sehr langer oder sehr dünner Draht ist, oder wenn man einen flüssigen Körper eingeschaltet hat, so ist die Stromstärke desto größer, je mehr Plattenpaare die Säule enthält.

Daher wendet man bei electromagnetischen Versuchen, da hier der Schließungsdraht in den meisten Fällen kurz und dick ist, meist nur ein Element oder eine Batterie an, ebenso, wenn kurze breite Metallstreifen zum Glühen gebracht werden sollen. Dagegen sind bei electrischen Telegraphen, bei physiologischen und chemischen Versuchen, oder wenn man lange dünne Drähte glühend machen will, zusammengesetzte Ketten nöthig.

von der Größe der Plattenpaare.

Haben in der Formel $p = \frac{e}{w + w'}$ die Buchstaben dieselbe Bedeutung, wie oben, so ist für eine Kette, deren Platten n mal so groß sind, $P = \frac{e}{\frac{w}{n} + w'} = \frac{ne}{w + nw'}$, denn der Leitungswiderstand in der Kette selbst ist n mal kleiner, als in der ersten, indem der Leitungswiderstand einer Flüssigkeit, ebenso wie der der Drähte, sich in demselben Grade verringert, als der Querschnitt größer wird.

Ist nun w' fast gleich Null (der Schließungsbogen ein kurzer, dicker Draht), so ist beinahe $p = \frac{e}{w}$ und $P = \frac{ne}{w}$.

Die Stromstärke wird demnach durch Vergrößerung der Platten vergrößert, wenn der Leitungswiderstand im Schließungs-Drahte sehr klein ist.

Ist aber w im Vergleich zu w' sehr klein, so daß man in dem Bruche $\frac{e}{w + w'}$ w ohne merklichen Fehler weglassen kann, so ist $p = \frac{e}{w'}$ und $P = \frac{ne}{nw'} = \frac{e}{w'}$, d. h.:

Ist der Widerstand im Schließungsbogen sehr groß, so wird durch Vergrößerung der Platten die Stromstärke nicht merklich vermehrt.

Die electromotorische Kraft wird durch Vergrößerung der Platten ebenso, wie durch einen größeren Zusatz von Säure zur Flüssigkeit nicht vergrößert, sondern nur der Leitungswiderstand vermindert.

Thermo-Electricität und thierische Electricität.

§ 197. Thermo-electrische Kette.

§ 197. Thermo-Electricität. Löthet man ein Wismuthstäbchen ss' (Fig. 243) und einen Kupferstreifen sos' so zusammen, daß sie ein Viereck bilden, und man erwärmt die eine Löthstelle, so wird die zwischen diesen Metallen auf einer Spitze ruhende Magnetnadel ab, wenn sie parallel mit den beiden Metallstreifen stand, abgelenkt; wird die andere Löthstelle erwärmt, so ist die Ablenkung der Nadel eine entgegengesetzte. Durch die Erwärmung einer der Löthstellen wird demnach ein electrischer Strom erzeugt.

Fig. 243.

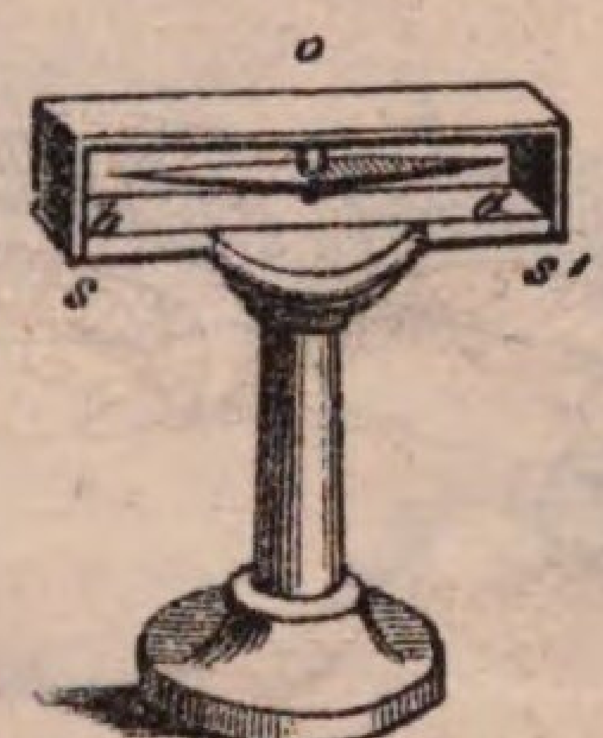
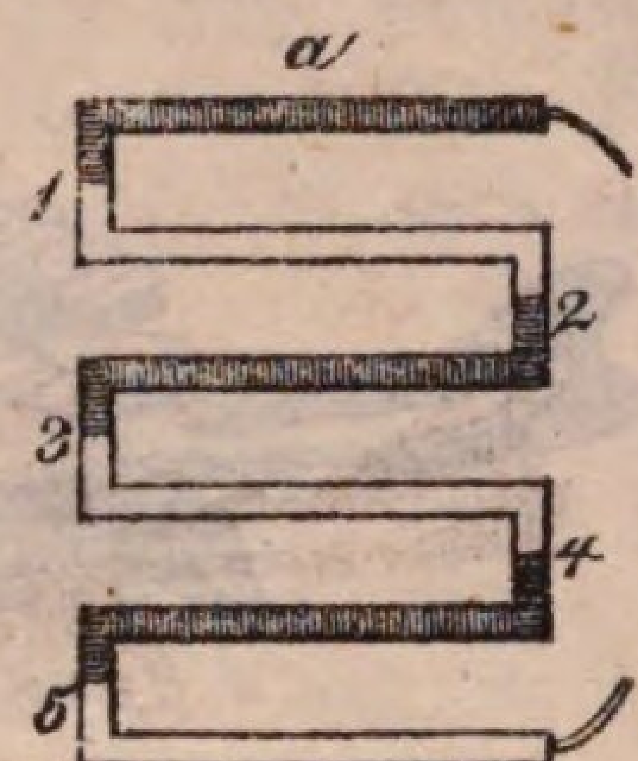


Fig. 244.



Aber nicht blos Wismuth und Kupfer, sondern je zwei beliebige Metalle zeigen, wenn sie in der beschriebenen Art verbunden sind, diese Erscheinung. Eine solche Verbindung heißt thermo-electrische Kette. Den stärksten electrischen Strom giebt eine Kette aus Wismuth und Antimon.

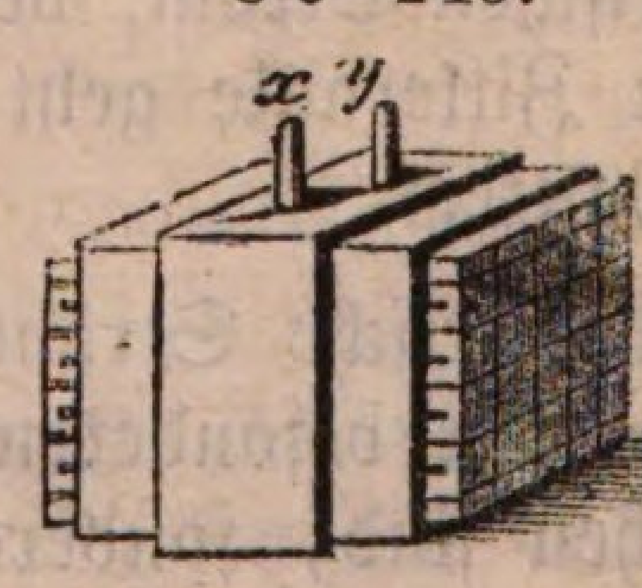
Thermo-electrische Säule.

Eine thermo-electrische Säule erhält man, wenn man mehrere Stäbchen Wismuth und Antimon so zusammenlöthet, wie Fig. 244 zeigt. Erwärmt man dann die durch die ungeraden Zahlen bezeichneten Löthstellen, so zeigt das mit den beiden Enden verbundene Galvanometer einen verstärkten electrischen Strom.

Eine sehr wichtige Anwendung hat Nobili (1834) von der thermo-electrischen Säule gemacht.

Es werden nämlich etwa 50—60 Wismuth- und Antimonstäbchen in der vorhin angegebenen Weise so zusammengelöthet, daß sie ein viereckiges Bündel bilden, in welchem die 1ste, 3te, 5te Löthstelle auf der einen, die 2te, 4te, 6te auf der anderen Seite liegen (Fig. 245). Die Stäbchen berühren sich nur in den Löthstellen; alle Zwischenräume zwischen ihnen sind mit einer isolirenden Substanz ausgefüllt. Das Bündel wird durch eine isolirte messingene Fassung zusammengehalten, aus welcher die ebenfalls isolirten und mit dem ersten und letzten Stäbchen des Bündels in Verbindung stehenden Drähte x und y hervortreten. Werden diese Drähte mit einem Galvanometer in Verbindung gesetzt, so hat man das empfindlichste aller bekannten Thermometer: denn schon die Annäherung der Hand an die eine Seite des Bündels bringt einen Ausschlag der Nadel hervor.

Fig. 245.



Die thermo-electrischen Ströme hat Seebeck in Berlin 1821 entdeckt.

§ 198. Electrische Fische.

§ 198.) **Thierische Electricität.** Es giebt Fische, die, wie eine galvanische Säule, electrische Schläge zu ertheilen im Stande sind. Die merkwürdigsten unter ihnen sind der im mittelländischen und im atlantischen Meere vorkommende Zitterrochen (Fig. 246) und der in Landseen Süd-Amerika's lebende Zitteraal (Fig. 247).

Fig. 246.

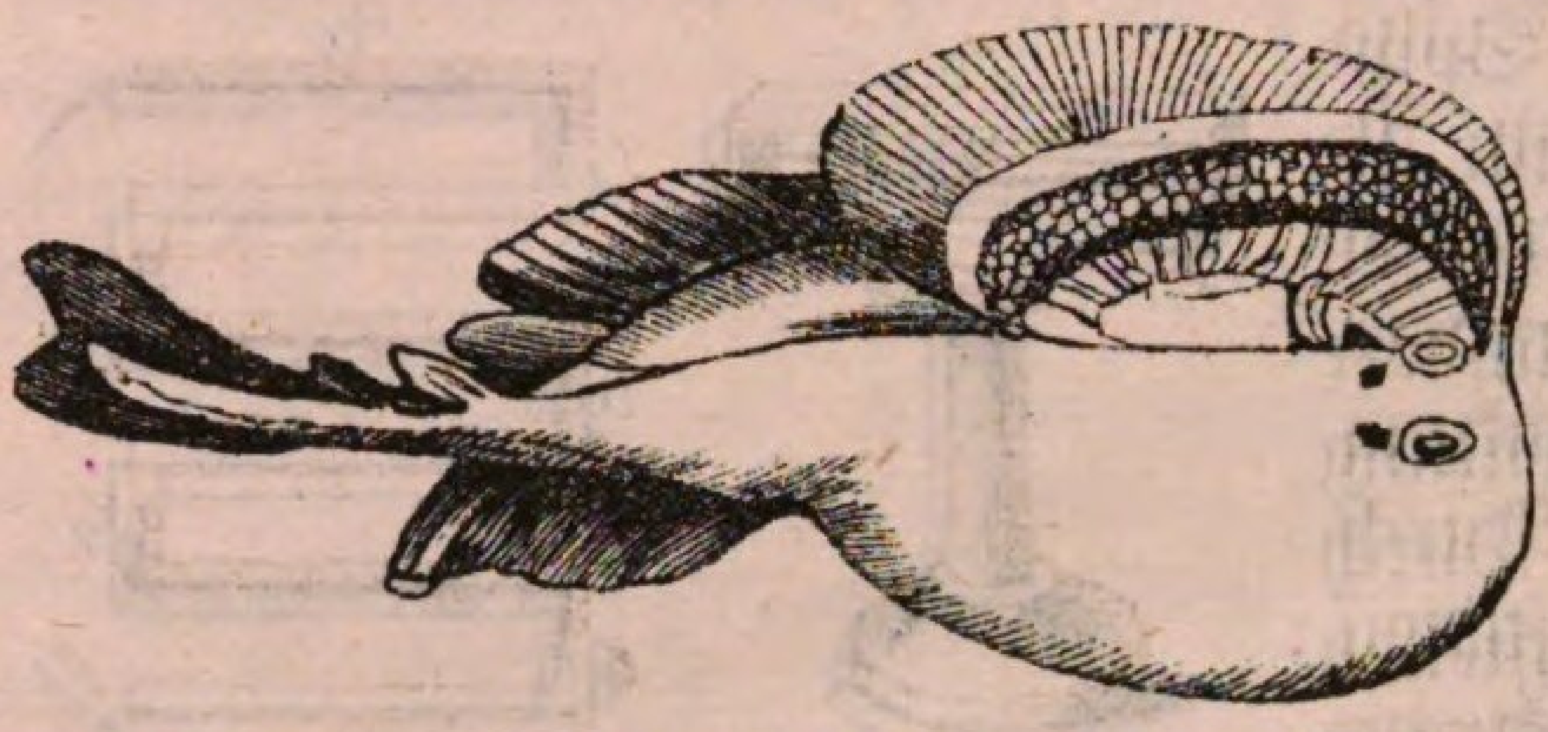


Fig. 247.



Das electrische Organ dieser Fische besteht aus einer großen Menge von Säulchen, deren jede aus übereinander geschichteten und durch klebrige Schleimschichten getrennten Blättchen zusammengesetzt und von einer sehnigen Haut umschlossen ist. Ihre Construction ist also der einer Volta'schen Säule nicht unähnlich. Fig. 248 stellt diese Säulchen von oben, Fig. 249 von der Seite gesehen dar.

Fig. 248.

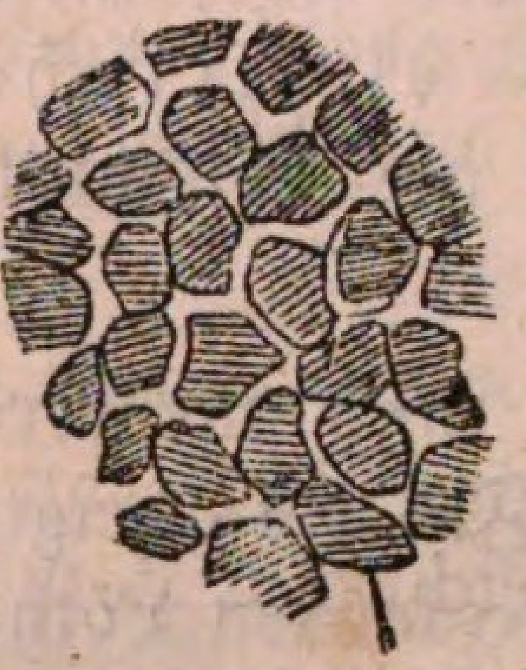


Fig. 249.



Beim Zitterrochen liegen diese Säulchen, deren derselbe 400—500 besitzt, in Brust und Bauch, und zwar mit ihrer Längenrichtung vom Rücken nach dem Bauche. (In unserer Abbildung ist der eine Theil des Rückens geöffnet dargestellt, so daß man die Säulchen von oben sieht.) Bei dem Zitteraal liegen sie im Schwanze, dessen Länge mehr als $^4/_5$ der ganzen Körperlänge beträgt und zwar in gleicher Richtung mit diesem.

Verbindet man beim Zitterrochen Rücken und Bauch durch einen Draht, so zeigt derselbe einen vom Rücken nach dem Bauche gehenden electrischen Strom, der alle Wirkungen electrischer Ströme hervorbringt. Beim Zitteraale geht der Strom in der Richtung vom Kopfe nach dem Schwanze.

Electrische Ströme in Thierkörpern.

Electrische Ströme finden sich aber nicht blos in solchen Thieren, welche mit besonderen zur Electricitäts-Erregung bestimmten Apparaten versehen sind, sondern in allen lebenden Thieren, und zwar in allen Theilen des Muskel- und Nervensystems.

So hat Nobili gefunden, daß, wenn man den Kopf und die Füße eines lebenden oder frisch getödteten Frosches mit den Draht-Enden eines empfindlichen Multiplicators verbindet, dieser einen vom Kopfe nach den Füßen gehenden Strom anzeigt. Du Bois Reymond hat nachgewiesen: Wenn man in einen Muskel eines lebenden Thieres einen Querschnitt macht und diesen mit dem einen Draht-Ende eines sehr empfindlichen Galvanometers, die äußere

Fläche des Muskels aber oder einen Längsschnitt desselben mit dem anderen Drahtende in leitende Verbindung bringt, so zeigt das Galvanometer einen Strom an, der von dem Längsschnitt oder der äußeren Fläche des Muskels zum Querschnitte geht. Dieselbe Erscheinung nimmt man an den Nerven wahr.

Somit hat sich die Vermuthung Galvani's, daß die Muskeln und Nerven Electromotoren seien, bestätigt.

Diese Muskel- und Nervenströme erleiden, wie Du Bois Reymond ebenfalls gefunden hat, eine Veränderung, sobald der Nerv eine Bewegung des zugehörigen Muskels vermittelt, und zwar läßt sich dies am unverletzten menschlichen Körper nachweisen.

Leitet man nämlich die beiden Draht-Enden eines sehr empfindlichen Galvanometers in zwei mit Salzlösung gefüllte Gläser und taucht in jedes der Gläser eine Hand oder einen Finger, so erfolgt ein Ausschlag der Galvanometer-Nadel, sobald man einen Finger stark krümmt und ihn in dieser Stellung eine Zeit lang erhält.

Maaß- und Gewichts-Tabelle.

Ein Meter ist der zehnmillionste Theil des Quadranten eines Erdmeridians.

Längenmaaß.	Flächenmaaß.	Körpermaaß.
1 Meter = 10 Decimeter.	1 Quadratmeter = 100 Quadratdecimeter.	1 Kubikmeter = 1000 Kubikdecimeter.
1 Decimeter = 10 Centimeter.	1 Quadratdecimeter = 100 Quadratcentimeter.	1 Kubikdecimeter = 1000 Kubikcentimeter.
1 Centimeter = 10 Millimeter.	1 Quadratcentimeter = 100 Quadratmillimeter.	1 Kubikcentimeter = 1000 Kubikmillimeter.

Preußisches Maaß durch Metermaaß ausgedrückt.

1 Preuß. Fuß = 0,31385 Meter.
1 „ Zoll = 0,02615 „
1 „ Linie = 0,00218 „

1 Quadratfuß Preuß. = 0,09850 Quadratmeter.
1 Quadratzoll „ = 6,841 Quadratcentimeter.

1 Kubikfuß Preuß. = 0,03092 Kubikmeter.
1 Kubikzoll „ = 17,891 Kubikcentimeter.

1 deutsche Bahnmeile = 7532 Meter.
1 geographische Meile, d. i. der 15. Theil eines Aequatorgrades = 7420 Meter.

Metermaaß durch Preußisches Maaß ausgedrückt.

1 Meter = 3,18620 Fuß = 38,234 Zoll = 458,81 Linien Preuß.
1 Quadratmeter = 10,1519 Quadratfuß = 1461,87 Quadratzoll „
1 Kubikmeter = 32,3459 Kubikfuß = 55893,7 Kubikzoll „

Gewichte.

Ein Kilogramm ist das Gewicht eines Kubikdecimeters, d. i. eines Liter reinen Wassers bei seiner größten Dichtigkeit (4° C.).
1 Kilogramm = 1000 Gramm = 2 Pfund Zollvereins-Gew.
1 Centner = 50 Kilogramm.
1 Pfund = 500 Gramm.
1 Loth = 16,66 Gramm.
1 Quentchen = 4,16 Gramm.

Inhalts-Uebersicht nach alphabetischer Reihenfolge.

Bibliothek Passau

Trappe, Albert

Schul-Physik

Breslau 18758

Passau, Staatliche Bibliothek -- S nv/OS 364(7)
urn:nbn:de:bvb:12-bsb11346206-0